

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA  
MENSURAÇÃO DO GRAU DE MATURIDADE E  
POTENCIAL DE ORGANIZAÇÕES NO ÂMBITO DA  
ECOLOGIA INDUSTRIAL**

Thomas Pereira Klen

Florianópolis, 2018



Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental

Thomas Pereira Klen

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA  
MENSURAÇÃO DO GRAU DE MATURIDADE E POTENCIAL  
DE ORGANIZAÇÕES NO ÂMBITO DA ECOLOGIA  
INDUSTRIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Sanitária e Ambiental da  
Universidade Federal de Santa Catarina,  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Engenheiro Sanitarista e  
Ambiental.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Marina Bouzon

Coorientador: Dr. Juliano Araújo

Florianópolis  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Klen, Thomas Pereira  
DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA  
MENSURAÇÃO DO GRAU DE MATURIDADE E POTENCIAL DE  
ORGANIZAÇÕES NO ÂMBITO DA ECOLOGIA INDUSTRIAL /  
Thomas Pereira Klen ; orientadora, Marina Bouzon,  
coorientador, Juliano Araújo, 2018.  
111 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro  
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental, Florianópolis, 2018.

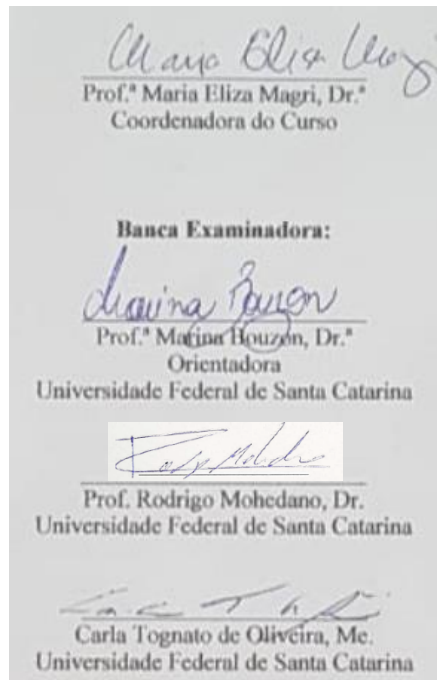
Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Ecologia  
Industrial. 3. Modelo de Maturidade. 4. Avaliação de  
Desempenho. I. Bouzon, Marina. II. Araújo, Juliano.  
III. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV.  
Título.

Thomas Pereira Klen

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA  
MENSURAÇÃO DO GRAU DE MATURIDADE E POTENCIAL  
DE ORGANIZAÇÕES NO ÂMBITO DA ECOLOGIA  
INDUSTRIAL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a  
Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental.  
Florianópolis, 17 de dezembro de 2018.



Esse trabalho é dedicado à minha família, por todo amor, incentivo e confiança depositados em mim. Em especial aos meus pais, Edmilson e Alexandra, obrigado por tudo.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao longo de todos esses anos dentro da Universidade, fico muito contente por ter sido rodeado de pessoas tão boas as quais me ajudaram a chegar até aqui.

Primeiramente agradeço à minha família, por toda educação que me deram (e continuam dando). Aos meus pais Edmilson e Alexandra, por terem proporcionado oportunidades incríveis e por sempre me colocarem à frente de todas as suas outras prioridades. Ao meu irmão Tobias pela parceria e aos meus Avós, em especial à Vó Neuza pelas nossas conversas diárias que me proporcionam grandes momentos de alegria.

Agradeço à minha orientadora, Marina Bouzon, por sua imensa dedicação, por compartilhar seus conhecimentos e demonstrar tamanha paixão em ensinar. Agradeço ao meu coorientador, Juliano Araújo, pelo interesse em colaborar nessa pesquisa, pelas nossas conversas e reflexões. Durante a elaboração deste trabalho tive a oportunidade de receber grandes ideias do Alessandro Sanches Pereira. Com certeza esse trabalho não seria o mesmo sem a sua ajuda. Muito obrigado, Alessandro.

Aos amigos que fiz dentro da UFSC, na Empresa Júnior – EJESAM, e no Grupo de Estudos Logísticos – GELOG, agradeço pelas conversas, pelas noites sem dormir e por todo trabalho que passamos juntos.



## RESUMO

O conceito de Ecologia Industrial (EI) vem se desenvolvendo desde a década de 1980 como uma nova visão de ideias e práticas produtivas que estão diretamente vinculadas às propostas de desenvolvimento sustentável. A EI possibilita uma visão holística que considera, concomitantemente e de modo amplo, as necessidades das organizações, dos homens e da natureza. No Brasil, entretanto, a EI é uma área relativamente pouco conhecida tanto no meio acadêmico quanto no meio empresarial. Embora muitas indústrias já realizem algumas práticas características da EI, não é claro como essas práticas podem ser ampliadas e usadas a seu favor e de outras organizações ao seu redor.

O presente trabalho busca promover e auxiliar na conscientização dos principais conceitos utilizados na EI além de ajudar organizações a entenderem seu nível de integração com práticas da EI, permitindo que as mesmas percebam quais são seus pontos fortes e quais passos elas devem seguir para desenvolver mais atividades voltadas à área.

Como o tema ambiental começa a ser visto cada vez mais como uma possibilidade de redução de custos e melhoria na imagem das empresas - e não somente uma obrigação regulatória -, acredita-se que esses conceitos devam ganhar cada vez mais importância e, portanto, fazem-se necessárias ferramentas que auxiliem esse processo. Assim, o objetivo geral dessa pesquisa é desenvolver uma ferramenta que permita medir o grau de maturidade das organizações no âmbito da EI e gerar, consequentemente, insumos aos gestores quanto ao foco de seus próximos esforços para acelerar práticas na área.

Para a concretização deste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de levantar as principais práticas e características da EI, seguida de uma análise de importância das informações levantadas por meio de um questionário desenvolvido para especialistas na área. As ponderações feitas pelos especialistas foram analisadas usando a metodologia Fuzzy AHP, que geraram insumos para o desenvolvimento de um modelo de mensuração de maturidade de organizações no âmbito da EI.

Além do desenvolvimento da ferramenta, foi realizada uma aplicação em uma empresa do ramo da saúde como teste-piloto, possibilitando analisar pontos fortes e de melhoria nas suas práticas de EI.

**Palavras-chave:** Ecologia Industrial. Modelo de Maturidade. Análise de Desempenho.





## ABSTRACT

The concept of Industrial Ecology (IE) has been developed since 1980's as a new perspective of ideas and productive practices in which are directly related to the concept of sustainable development. IE allows an holistic view which embodies at the same time the needs from organisations, from man and from nature. In Brazil, however, IE is a field very little known from the academic field as well as the industry field. Although many organisations apply some IE practices, it is not yet clear how these practices can be developed and used in benefit of their own organisation and others among them.

This research aims to promote and share the main IE concepts as well as help organisations to understand their IE integration level, allowing them to understand their needs and strengths, enhancing their practices.

Because of the new relevance given to environmental topics - and not only by legislation matters - but also by economic savings and image development, it is believed that these concepts should receive more relevance, making the need of tools on IE even more important. Therefore, the main goal of this research is to develop the tool that enables the level maturity level and allow, consequently, managers to better understand their current situation and focus on what is really priority to develop in this area. Also, a test run of this tool was made in an enterprise from the healthcare sector, that already showed some results on how could this organisation better develop its activities to enhance its IE practices.

**Keywords:** Industrial Ecology. Maturity Model. Performance Analysis.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relações da Ecologia Industrial .....	34
Figura 2 - Divisão das áreas da ecologia industrial .....	35
Figura 3 - Representação da estrutura de um parque industrial, onde há geração de bens e materiais para tratamento e descarte .....	43
Figura 4 - Representação geral de uma rede de indústrias cíclicas com N subsistemas e instalações de regeneração (tratamento de resíduos e efluentes).....	44
Figura 5 - Trocas simbióticas em Kalundborg.....	46
Figura 6 - Caracterização da Pesquisa .....	52
Figura 7 - Metodologia Adotada .....	53
Figura 8 - Árvore de decisões AHP. ....	58
Figura 9 - Função de um número fuzzy triangular. ....	59
Figura 10 - Variáveis linguísticas para a importância de pesos em cada critério. ....	60
Figura 11 - Etapas do desenvolvimento do Modelo de Maturidade .....	64
Figura 12 - Gráficos com a pontuação das atividades já realizadas de EI em cada esfera.....	74
Figura 13 - Método de cálculo do "Valor Final" e "Valor Máximo Possível" .....	76
Figura 14 - Gráfico com as pontuações da Esfera Empresarial..	84
Figura 15 - Gráfico com as pontuações da Esfera Interempresarial .....	85
Figura 16 - Gráfico com as pontuações da Esfera Regional/Global .....	86



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estrutura do trabalho de pesquisa. ....	30
Quadro 2 - Compilação dos principais instrumentos da Ecologia Industrial.....	40
Quadro 3 Evolução cronológica dos principais eventos do parque industrial de Kalundborg.....	46
Quadro 4 - Esferas Da Ecologia Industrial Adotadas .....	56
Quadro 5 - Domínios de funcionamento da Ecologia Industrial	56
Quadro 6 - Características da Lógica <i>Fuzzy</i> .....	58
Quadro 7 - Perfil dos <i>experts</i> respondentes.....	66



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Benefícios estimados através das trocas entre empresas de Kalundborg.....	47
Tabela 2- Palavras-Chave selecionadas para a revisão de literatura .....	55
Tabela 3 - Cálculo para transformação dos números do AHP para <i>Fuzzy</i> .....	62
Tabela 4 - Faixa numérica de comparação.....	67
Tabela 5 - Compilação dos pesos por <i>Expert</i> usando a metodologia AHP para os Domínios.....	68
Tabela 6 - Compilação dos pesos por <i>Expert</i> usando a metodologia AHP para o domínio Técnico.....	68
Tabela 7 - Compilação dos pesos por <i>Expert</i> usando a metodologia AHP para o domínio Econômico .....	68
Tabela 8 - Compilação dos pesos por <i>Expert</i> usando a metodologia AHP para o domínio Comunicativo.....	69
Tabela 9 - Compilação dos pesos por <i>Expert</i> usando a metodologia AHP para o domínio Regulatório.....	69
Tabela 10 - Compilação dos pesos por <i>Expert</i> usando a metodologia AHP para o domínio Inovativo .....	69
Tabela 11 - Compilação dos pesos calculados com os dois métodos (AHP e <i>Fuzzy</i> AHP). .....	70
Tabela 12 - Pontuação de práticas já executadas em EI .....	73
Tabela 13 - Resultado obtido das práticas da Esfera EMPRESARIAL .....	77
Tabela 14 - Resultado obtido das práticas da Esfera INTEREMPRESARIAL .....	79



Tabela 15 - Resultado obtido das práticas da Esfera  
REGIONAL/GLOBAL ..... 81

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AHP – Analytic Hierarchy Process (Processo de Análise Hierárquica)

DTIE – Division of Technology, Industry and Environment (Divisão de Tecnologia, Indústria e Meio Ambiente)

EC – Economia Circular

EI – Ecologia Industrial

P+L – Produção mais Limpa

PEI – Parques Ecoindustriais

SI – Simbiose Industrial

SIEI – Sociedade Internacional de Ecologia Industrial

UNEP – United Nations Environment Program (Programa Ambiental das Nações Unidas).



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>27</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	27
1.2	OBJETIVOS .....	28
1.2.1	Objetivo geral.....	28
1.2.2	Objetivos específicos .....	28
1.3	JUSTIFICATIVA.....	29
1.4	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	29
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	30
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>33</b>
2.1	ECOLOGIA INDUSTRIAL .....	33
2.1.1	FERRAMENTAS DA EI.....	35
2.1.1.1	ECODESIGN .....	35
2.1.1.2	PRODUÇÃO MAIS LIMPA .....	36
2.1.1.3	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA .....	37
2.1.1.4	SIMBIOSE INDUSTRIAL.....	37
2.1.1.5	ANÁLISE ENERGÉTICA DE SISTEMAS .....	39
2.1.1.6	NÍVEIS DE INTEGRAÇÃO E FERRAMENTAS .....	40
2.1.2	PARQUES ECOLÓGICOS INDUSTRIAIS (PEI).....	41
2.1.2.1	Modelo de referência: o caso do PEI Kalundborg: Kaludborg 44	
2.2	MODELO DE MATURIDADE .....	48
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>51</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	51
3.2	ETAPAS DA PESQUISA.....	52
3.3	PROCEDIMENTOS TÉCNICOS – BASE TEÓRICA PARA A FERRAMENTA .....	54
3.4	PROCEDIMENTOS TÉCNICOS – BASE MATEMÁTICA PARA A FERRAMENTA .....	57
3.4.1	Método de Análise Hierárquica .....	57

3.4.2	Números <i>Fuzzy</i> .....	58
<b>4</b>	<b>RESULTADOS – MODELO DE MATURIDADE .....</b>	<b>63</b>
4.1	Aplicação do Questionário .....	65
4.2	Análise do Questionário – AHP .....	67
4.3	Análise do Questionário – Fuzzy AHP.....	70
4.4	Desenvolvimento da Ferramenta .....	71
4.5	Aplicação da Ferramenta – Teste Piloto – e Conclusões Preliminares.....	72
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>87</b>
5.1	Atendimento dos objetivos de pesquisa .....	87
5.2	Limitações e oportunidades para futuras pesquisas .....	88
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>91</b>
	<b>APÊNDICE A – Questionário aos <i>Experts</i> .....</b>	<b>97</b>
	<b>APÊNDICE B – Modelo de Maturidade .....</b>	<b>109</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Nesse capítulo apresenta-se o contexto, os objetivos, a justificativa, a delimitação do trabalho assim como a estrutura dessa monografia de conclusão de curso.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O aumento do consumo de bens materiais ao redor do mundo aliado com um desenvolvimento crescente da urbanização e índices populacionais resulta em um aumento gigantesco da utilização de recursos naturais (UNEP, 2000). Logo, há uma grande necessidade para uma maior eficiência na implementação de processos relacionados com a sustentabilidade visando um equilíbrio entre o que seja economicamente viável, socialmente justo e ambientalmente correto.

Durante séculos a poluição foi vista como indicativo positivo da economia, ou seja, não se concebia a possibilidade de desenvolvimento econômico e industrial sem um consequente aumento das emissões de poluentes (RUIZ, 2013). Com o passar dos anos, as empresas perceberam que é possível um crescimento econômico sem impactos ambientais consideráveis e que, ainda por cima, o fator ambiental pode ser utilizado como potencializador econômico em seus processos (PEREIRA et al., 2012).

O conceito de sustentabilidade ganhou reconhecimento a partir de 1987, principalmente, depois da publicação do relatório de *Brundtland* “Nosso futuro comum”, que mostrou a importância do uso sustentável de recursos nos dias de hoje para evitar maiores problemas para as gerações futuras.

Não faz muito tempo que as organizações perceberam que o pensamento ambiental e o crescimento econômico podem ser compatíveis e que esses resultados podem ser alcançados juntos. Muitas empresas já iniciaram a utilização de práticas voltadas ao desenvolvimento sustentável como uma ferramenta estratégica para ganhos competitivos, atendimento a exigências do mercado consumidor, compatibilização com novas leis e como potencial de redução em custos.

A necessidade de desenvolver mecanismos que conduzam a sociedade industrial para busca de um novo modelo organizacional e operacional, alinhado à promoção do desenvolvimento sustentável, fortaleceu uma área definida como Ecologia Industrial (TREVISAN et al., 2016). Esse conceito se vincula à metáfora entre os ecossistemas naturais e industriais onde as organizações trabalham de maneira

cooperativa na redução de impactos ambientais, ampliação de resultados econômicos e na busca pela participação em conjunto da sociedade ao redor (COSTA, 2002).

Dentro de uma perspectiva nacional, a EI é ainda um tema relativamente desconhecido no meio acadêmico e, em especial, no meio empresarial (TREVISAN et al., 2016). Uma comprovação disso é o fato do Brasil não possuir nenhum modelo de práticas de Ecologia Industrial entre empresas próximas, como é o caso de Parques Ecoindustriais (PEI) (ARAÚJO et al, 2013).

Diante desse cenário da área de EI no Brasil, ratifica-se a importância de buscar soluções para promover a conscientização e a divulgação de informações sobre o assunto e, em especial, orientar como as empresas podem desenvolver ações práticas alinhadas à EI.

Dessa maneira, o presente trabalho busca focar nessa lacuna, elaborando sobre o nível de maturidade em EI de uma organização e sobre o potencial de desenvolvimento dos processos característicos da EI possibilitando, assim, disseminar conceitos da EI tanto no âmbito acadêmico, quanto no empresarial.

## 1.2 OBJETIVOS

A fim de obter resultados sobre o tema principal da pesquisa, esse capítulo apresenta os objetivos a serem atingidos nesse trabalho.

### 1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma ferramenta que meça o grau de maturidade de organizações no âmbito da EI e que apresente seu potencial de desenvolvimento na área.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Objetivo 1: Levantar informações acerca de práticas de EI e modelos de maturidade empresarial.
- Objetivos 2: Relacionar práticas e ferramentas de EI com seu grau de importância.
- Objetivo 3: Desenvolver uma ferramenta de aplicação para mensuração da ecologia industrial.

- Objetivo 4: Testar a ferramenta em um ambiente operacional para validar sua aplicabilidade.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Embora o aumento na utilização de recursos naturais através da produção industrial de bens e serviços promova a manutenção e o desenvolvimento econômico de sociedades, a exploração inadequada gera externalidades negativas e sinaliza o esgotamento de recursos, fazendo com que a problemática da utilização insustentável de recursos naturais ganhe ainda mais importância (GUIMARÃES, 2015).

A EI tem como um de seus objetivos entender o funcionamento do sistema industrial para então determinar como o sistema industrial pode ser reestruturado para assemelhar-se a um sistema natural (VEIGA e MAGRINI, 2009). Dessa maneira, a visão que antes disseminava os conceitos de biosfera, responsável por fornecer os insumos demandados e receber todos os resíduos gerados, e a tecnosfera, agente produtora de bens, é transformada para uma proposta única, que busca um equilíbrio entre a disponibilidade de recursos naturais e a demanda para a produção de bens e serviços (RUIZ, 2013).

Pensando no crescimento econômico em uma esfera nacional, uma das maneiras para o desenvolvimento de um país é através da criação de novas indústrias. Para que esse crescimento não represente um aumento de impactos ambientais, acredita-se que os conceitos da EI e de seus instrumentos devam ganhar mais visibilidade e facilidade de acesso entre setores industriais para se tornarem temas mais recorrentes em pesquisas e estudos científicos (RUIZ, 2013).

Auxiliar no desenvolvimento de práticas ambientais dentro de organizações através da análise de sua maturidade no âmbito da EI é um fator motivador já que esse estudo poderá servir de base tanto para gestores - que buscam entender e potencializar atividades mais sustentáveis em suas organizações sem impactar ganhos econômicos – quanto para acadêmicos e pesquisadores – pois essa é uma área com grandes potenciais de estudos e poucos trabalhos realizados no Brasil.

### 1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Com o intuito de garantir o caráter científico do presente trabalho, julga-se relevante citar algumas delimitações referentes ao método de pesquisa e de trabalhos citados neste estudo. Ressalta-se o não



conhecimento de outros trabalhos que possuam o mesmo método proposto, a não ser as próprias publicações dos autores citados ao longo do texto.

Para a construção da ferramenta de mensuração de maturidade em organizações foram levantadas as principais práticas encontradas na literatura classificadas dentro da EI, sendo elas em nível Empresarial, Interempresarial e Regional/Global. O modelo analisa somente práticas gerais das organizações, sem levar em consideração práticas de EI que acontecem exclusivamente em determinados setores industriais, ou práticas ambientais que não se enquadram dentro da EI.

Por fim, vale ressaltar que os pesos dados aos critérios das ferramentas foram determinados através da análise e ponderação das respostas de especialistas no assunto a um questionário que englobava os principais aspectos da ferramenta.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do presente trabalho é organizada em 5 capítulos. O Quadro 1 apresenta a descrição de cada um dos capítulos e os objetivos específicos (ver 1.2.2) associados a eles.

Quadro 1 - Estrutura do trabalho de pesquisa.

<b>Capítulo e Descrição</b>	<b>Objetivos específicos a serem atingidos</b>
<b>Capítulo 1 – Introdução</b> Explanar, brevemente, a contextualização, os objetivos, a justificativa, a delimitação do trabalho e estrutura da monografia.	-
<b>Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica</b> Apresentar conceitos relevantes para o embasamento de conteúdo da pesquisa. Os principais conceitos abordados foram em: Ecologia Industrial e Modelos de Maturidade.	<b>Objetivo 1</b> Levantar informações acerca de práticas de ecologia industrial e modelos de maturidade empresarial.
<b>Capítulo 3 – Procedimentos Metodológicos</b>	<b>Objetivo 2</b>

<p>Descrever os métodos de pesquisa científica adotados e as etapas metodológicas utilizadas para a obtenção dos dados necessários para a realização do trabalho e suas análises.</p>	<p>Relacionar práticas e ferramentas de ecologia industrial com seu grau de importância.</p>
<p><b>Capítulo 4 - Resultados</b> Apresentar a ferramenta desenvolvida junto com seu método de cálculo, além de aplicar a ferramenta desenvolvida em uma empresa visando a obtenção de dados reais para o trabalho.</p>	<p><b>Objetivo 3</b> Desenvolver uma ferramenta de aplicação para mensuração da ecologia industrial.</p> <p><b>Objetivo 4</b> Testar a ferramenta em um ambiente operacional para validar sua aplicabilidade.</p>
<p><b>Capítulo 5 – Conclusão</b> Apresentar os resultados alcançados, as dificuldades encontradas ao longo do trabalho e sugerir próximos passos para trabalhos futuros.</p>	<p>-</p>

Fonte: Elaboração própria

Os dados desse trabalho foram coletados em dois principais momentos: no ponto inicial da pesquisa, para compor o referencial teórico, e durante o levantamento das principais práticas existentes em EI que serviram de insumos para o desenvolvimento do modelo de maturidade.

Para a pesquisa teórica deste trabalho foram utilizadas as bases de dados SCOPUS e Google acadêmico. O gerenciamento dos artigos foi feito com apoio do software *Mendeley*.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta os principais conceitos abordados neste trabalho, baseados em publicações científicas nacionais e internacionais da área. A ênfase da revisão bibliográfica é dada aos dois grandes norteadores da pesquisa: Ecologia Industrial e Modelo de Maturidade.

### 2.1 ECOLOGIA INDUSTRIAL

O termo Ecologia Industrial (EI) foi inicialmente apresentado pelos autores Frosch, Robert e Gallopoulos (1989) no seu artigo “*Strategies for Manufacturing*” (em português, Estratégias para a Produção). O conceito trazia uma sugestão na mudança da visão individual das indústrias para uma visão de ecossistema, onde o consumo de energia e materiais seriam otimizados, a geração de resíduos minimizada e onde o efluente de um processo se tornaria a matéria prima de outro. A EI funcionaria semelhantemente a um ecossistema biológico, onde cada elo auxiliaria na fonte de matéria prima do outro, e um equilíbrio dinâmico ficaria estabelecido.

Em torno dessa temática, o conceito de EI foi evoluindo e, até hoje, uma das descrições mais aceitas para seu conceito e que também é adotada pela Sociedade Internacional de Ecologia Industrial (SIEI) é a seguinte:

“O estudo dos fluxos de materiais e energia em atividades industriais e de consumo, dos efeitos desses fluxos ao meio ambiente, e das influências de fatores econômicos, políticos, regulatórios e sociais no fluxo, utilização e transformação desses recursos”  
(WHITE, 1994)

Desde a definição do conceito por White, diversos autores complementam as características marcantes da EI, como Costa (2002) que apresenta a EI como um sistema produtivo e considerado um subsistema da biosfera, ou seja, uma organização particular de fluxos de matéria, energia e informação. Pereira (2017) apresenta a EI como um estudo da física, química e das interações biológicas e inter-relações entre sistemas industriais e ecológicos. Assim, percebe-se que com a evolução do conceito ao longo dos anos, atributos como novas responsabilidades aos fornecedores e uma maior importância à área socioeconômica são adicionados como fator chave dentro da EI. A Figura 1 apresenta um resumo das principais relações existentes dentro da área de EI, percebe-



envolverem mais de uma empresa. Dessa forma é esperado que o nível de maturidade dessas empresas para desenvolverem esse tipo de processo seja alto. Por fim, o último nível apresenta uma integração maior e mais estruturada atingindo agentes públicos e privados, além de possuir um raio de abrangência muito maior.

Figura 2 - Divisão das áreas da ecologia industrial



Fonte: Adaptado de Clift and Druckman (2016); Lifset and Graedel (2002).

## 2.1.1 FERRAMENTAS DA EI

A EI busca oferecer um conceito “guarda-chuva” com estratégias e ferramentas trabalhando formalmente unidas para otimizar recursos e reduzir os impactos das atividades produtivas (PEREIRA, 2017). Alguns desses conceitos englobados pela EI são apresentados a seguir.

### 2.1.1.1 ECODESIGN

O *ecodesign* busca, dentro do desenvolvimento de produtos, um ponto de equilíbrio entre os impactos ambientais e a demanda humana (KARLSSON e LUTTROPP, 2006). Diversas ferramentas de *design* são utilizadas para incluir questões de sustentabilidade utilizando-se do meio natural como princípio e estratégia para projetar o ambiente construído ou o modo de vida das pessoas de forma que se integrem harmoniosamente com o meio ambiente, o qual inclui a biosfera e todas as formas de vida que existem no planeta (YEANG, 2006).

Além de garantir uma relação harmoniosa entre produtos e meio ambiente, o *ecodesign* cria vantagens competitivas com relação ao reaproveitamento de materiais de produtos no final de seu ciclo de vida. A recuperação e reuso de “recursos industriais” já era considerado um processo comum desde a década de 1980 (com um objetivo exclusivamente financeiro), mas tornou-se mais desafiador desde o aparecimento de uma gama de novos materiais, componentes e produtos no mercado (CLIFT e DRUCKMAN, 2016). Dessa maneira, através do *ecodesign* é possível planejar desde o início do desenvolvimento do produto a melhor maneira de reaproveita-lo ao final do seu ciclo de vida.

#### 2.1.1.2 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A produção mais Limpa (P+L) surgiu como uma maneira prática de conscientizar as indústrias de seu mau gerenciamento a respeito de questões ambientais praticadas principalmente nas últimas décadas do século XX (HENS et al., 2018). Nesse período, uma série de acidentes ambientais foram causados pela falta de políticas de segurança e meio ambiente, como a emissão excessiva de dioxinas em Seveso na Itália, causada pela ICMESA/Roche em 1976 (HENS, DYKE, 2016) ou o desastre gerado por pesticidas em Bhopal, na Índia, em 1984, causando mais de 16000 mortes (LAPIERRE, MORO, 2004).

A expressão P+L foi apresentada inicialmente em 1989 pelos órgãos internacionais *United Nations Environment Program* (Programa Ambiental das Nações Unidas / UNEP) e pela *Division of Technology, Industry and Environment* (Divisão de Tecnologia, Indústria e Meio Ambiente / DTIE). Conceituou-se, então, a P+L como a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada em processos, produtos e serviços, com intuito de aumentar a eficiência de produção e reduzir os riscos para os seres humanos (GIANNETTI, ALMEIDA e BONILLA, 2007).

Essa definição inicial de P+L foca em aspectos mais técnicos e, segundo Kalili (2015), suas estratégias são concentradas

fundamentalmente nas operações, na sustentabilidade ambiental e na redução da geração de resíduos e maximização da reciclagem e reuso de materiais em nível empresarial tomando, assim, uma escala microeconômica. Hens et al. (2018) aponta que a P+L almeja um uso energético e de materiais mais eficiente e a substituição de produtos nocivos ao meio ambiente por outros com menores impactos.

Por fim, convém ressaltar que a P+L pode ser enquadrada como: (1) uma ferramenta ambiental, por buscar ao máximo a redução da geração de resíduos; (2) uma ferramenta econômica, pois esses resíduos são considerados produtos com valor econômico negativo; e (3) uma ferramenta de gestão, pois exige a reorganização das atividades de uma empresa, que necessita do apoio de todos os níveis hierárquicos (KAZMIERCZYK, 2002).

#### 2.1.1.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Análise do ciclo de vida (ACV) é uma metodologia que busca identificar os impactos ambientais de um produto ou processo em cada etapa do seu ciclo de vida. Engloba as etapas que vão desde a retirada de matérias-primas (berço) à disposição do produto final após uso (túmulo) (TANIMOTO, 2004). Isso significa que para a correta análise dos impactos gerados de um produto ou processo, os estudos analisam etapas como processamento da matéria-prima, uso, reuso, manutenção, processos logísticos, reciclagem e disposição final.

Muitas empresas já compreendem os reais benefícios da ACV, que auxiliam tanto em nível estratégico como operacional. Exemplos de seus benefícios são: desenvolvimento de uma política de negócio ambiental estratégico; estabelecimento de objetivos e metas específicas; identificação de tarefas e responsabilidades na organização durante o ciclo de vida; comunicação com as organizações envolvidas em seu ciclo de vida e seus *stakeholders*, além das estruturas de gestão organizacional (PINTO, 2016).

Por proporcionar uma visão mais abrangente dos impactos provocados durante o desenvolvimento de produtos, a ACV auxilia na identificação de medidas mais adequadas do ponto de vista ambiental e econômico que uma empresa deve tomar e, por esses motivos, é considerada a ferramenta mais utilizada e amplamente divulgada dentro da EI (KORHONEN *et al.*, 2004).

#### 2.1.1.4 SIMBIOSE INDUSTRIAL



O significado de “simbiose” passou a ser mais utilizado em outras áreas de estudo, além da biologia, a partir da década de 1980, após o surgimento da Ecologia Industrial. O termo original faz referência à relação harmônica de duas ou mais espécies na natureza que realizam trocas como de proteção, limpeza e alimentos (RUIZ, 2013). Quando aplicada na área de Ecologia Industrial, uma das definições mais utilizadas é dada por Chertow (2000), que afirma:

“A simbiose industrial aproxima indústrias, originalmente separadas, em uma abordagem coletiva visando ampliar as vantagens competitivas de cada uma. Envolve troca física de materiais, energia, água e/ou subprodutos. As chaves para a simbiose industrial são a colaboração e as possibilidades de sinergia oferecidas pela proximidade geográfica.” (CHERTOW, 2000).

Diante das definições de (ASHTON, 2008; CHERTOW, 2008), a simbiose industrial estuda e relaciona os subprodutos gerados no processo (*input* – entrada e *output* – saída) que vêm a ser aproveitados por outras organizações, tendo como finalidade utilizar esses resíduos de forma eficiente. Assim, agindo em um ciclo fechado, o resíduo que não é mais utilizado em uma empresa é aproveitado em outras, favorecendo o desenvolvimento sustentável e colaborando com o meio ambiente.

Em suma, a Simbiose Industrial (SI) busca a cooperação entre indústrias para o gerenciamento de recursos, em especial de subprodutos, para que o resíduo de um se torne matéria-prima para outro. Esse ciclo fechado também está bem alinhado com o conceito de Economia Circular (Mulrow et al., 2017). Com a evolução do conceito, definições mais recentes enfatizam também a troca de informações, *know-how* e oportunidades de inovação (Lombardi & Laybourn, 2012).

Segundo (Nakajima, 2000), a EI é importante na transição em busca da Economia Circular (EC), criando alternativas diferentes para materiais e seus resíduos através do reuso, reciclagem e remanufatura. Assim, com essas alternativas é possível aumentar o reaproveitamento de materiais e, em alguns casos, aumentar o seu ciclo de vida. Além disso, Saavedra et al. (2018) mostra que as ferramentas usadas na EI suportam diversas práticas da EC além de auxiliarem nas criações de novas regulamentações que também beneficiam a EC.

Para Bain et al. (2010), as pesquisas realizadas sobre SI exploram a gestão colaborativa dos recursos empresariais com o objetivo de conhecer e compreender as vantagens econômicas.

As práticas características de SI podem se apresentar de diversas formas. Saraceni (2014) analisa a SI englobando três operações simbióticas, sendo elas:

- a) intercâmbio de subprodutos, como troca de materiais, energia e água;
- b) compartilhamento de utilitários e/ou serviços, como estações de tratamento de efluente compartilhadas e utilização em conjunto de processos logísticos;
- c) cooperação em gestão, que são essenciais para a construção de uma rede de interação e podem ser vistos na forma de compartilhamento de informações e gerenciamento em conjuntos de plantas industriais.

#### 2.1.1.5 ANÁLISE ENERGÉTICA DE SISTEMAS

A análise energética de sistemas (AES) busca mapear o uso da energia utilizada em atividades produtivas para aumentar a sua eficiência e identificar as tecnologias utilizadas para a geração de energia a fim de diminuir impactos ambientais (PEREIRA, 2017). Além de estar diretamente ligada ao estudo de fluxos de materiais, a AES auxilia na tomada de decisão de gestores, através de informações estratégicas geradas por modelos matemáticos.

A caracterização dos fluxos energéticos dentro dos processos produtivos industriais podem ser enquadrados, segundo Águas (2004), em quatro grandes tipos:

- Energia Primária: fonte primordial de energia (fóssil ou renovável);
- Energia Final: energia que chega aos consumidores após seus processos de transformação;
- Energia Útil: conversão entre a energia recebida e a energia consumida para a realização de um processo;
- Energia Produtiva: efetividade da energia útil, considerando perdas por deixar equipamentos ligados sem estar de fato produzindo ou agregando valor ao processo.

Um maior entendimento do fluxo energético dentro de uma organização também permite entender demandas e pontos fortes da organização que podem ser resolvidos ou maximizados através do compartilhamento de fontes de energia com outras organizações locais.

### 2.1.1.6 NÍVEIS DE INTEGRAÇÃO E FERRAMENTAS

No contexto da Ecologia Industrial, percebe-se a dependência na utilização de ferramentas em conjunto para potencializar os resultados na área. Além das ferramentas expostas anteriormente, existem diversas outras que auxiliam o desenvolvimento do conceito de Ecologia Industrial e variam de acordo com suas metodologias, regras e princípios próprios.

O Quadro 2 correlaciona certas ferramentas de EI (as já apresentadas e algumas outras) com os diferentes níveis de integração (Figura 2) juntamente com uma breve descrição de cada uma delas.

Quadro 2 - Compilação dos principais instrumentos da Ecologia Industrial

<b>Ferramenta</b>	<b>Nível de Integração</b>	<b>Descrição</b>
Produção mais Limpa (P+L)	Empresarial	Proporcionar o aumento da eficiência no uso de matérias-primas, água e energia e a não-geração, minimização ou reciclagem de resíduos em todo tipo de setor produtivo.
Análise do Ciclo de Vida (ACV)	Interempresarial	Analisar potenciais impactos de produtos ou serviços ao longo de seu ciclo de vida, englobando aspectos como aquisição de matérias-primas, produção, utilização e disposição final.
<i>Ecodesign</i>	Empresarial	Viabilizar o <i>design</i> ou projeto de produtos incorporando objetivos ambientais com pouca ou nenhuma perda do desempenho, vida útil ou funcionalidade dos produtos.
Análise de custo do ciclo de vida (ACCV)	Interempresarial	Avaliar os custos de produtos ou serviços a partir de uma perspectiva de ciclo de vida.
<i>Material input per unit</i>	Interempresarial	Analisar a entrada de materiais ao longo de seu ciclo de vida por unidade de serviço.

<i>of service</i> (MIPS)		
Análise de fluxo de materiais (AFM)	Interempresarial	Auxiliar na gestão operacional de sistemas produtivos através da análise da entrada de materiais a granel em termos de medidas físicas em um sistema
Análise energética de sistemas (AES)	Regional/Global	Mapear o uso da energia utilizada em atividades produtivas para aumentar a sua eficiência e identificar as tecnologias utilizadas para a geração de energia a fim de diminuir impactos ambientais.
Análise de Risco (AR)	Interempresarial	Elencar a chance de eventos com diferentes graus de impactos acontecerem na organização. Permite que contramedidas sejam planejadas para evitar impactos negativos maiores.
Sistema de gestão ambiental (SGA)	Empresarial	Avaliar aspectos ambientais dentro de uma organização e suas relações com recursos, outras ferramentas e a estratégia da organização.
Pegada ecológica (PE)	Empresarial	Analisar os impactos causados por certas atividades (industriais, urbanas, humanas, etc.) no ambiente ao seu redor.

Fonte: Adaptado de (FRAGOMENI, 2005; PEREIRA, 2017).

### 2.1.2 PARQUES ECOLÓGICOS INDUSTRIAIS (PEI)

Quando os conceitos de “distrito industrial”, “parque industrial”, ou ainda “polo industrial” são apresentados aos profissionais da indústria, empresários e autoridades voltados para o desenvolvimento econômico, não existem grandes dúvidas quanto ao seu significado. Contudo, a inserção da palavra “eco” a estas terminologias propõe um novo enfoque estratégico às estruturas organizacionais industriais, o que muitas vezes gera dúvidas entre os principais agentes da indústria (Fragomeni, (2005).

Os Parques Ecoindustriais (PEI) são desenvolvidos para servir como medidas efetivas na mitigação do esgotamento de recursos e no melhoramento da pegada ecológica de processos industriais. O sistema implementa o conceito de simbiose industrial onde as operações simbióticas podem ser vistas na prática com o objetivo de atingir benefícios econômicos e ambientais mútuos (AGUILAR *et al.*, 2017).

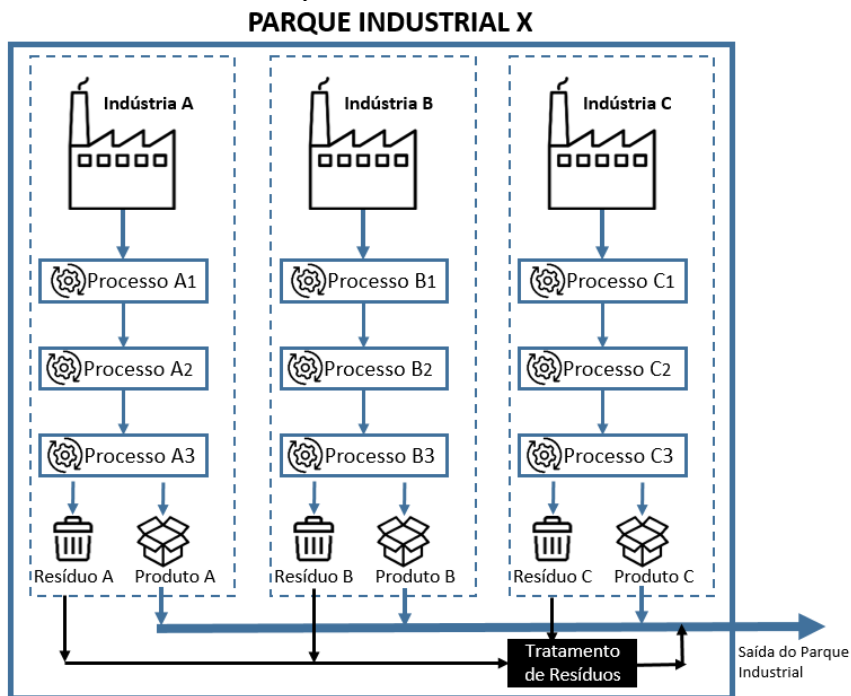
Liwerska *et al.* (2009) afirmam que os PEIs são uma área de crescente interesse dentro da ecologia industrial, sendo que em um PEI são visíveis as trocas de material e energia entre indústrias, onde uma entidade depende parcialmente da outra para sua operação. Esse estilo de operação segue um modelo de fluxo circular, estilo “recursos-produtos-recursos renováveis”, que serve como um agente importante no desenvolvimento sustentável (ZENG *et al.*, 2017).

Enquanto o interesse próprio motiva o desenvolvimento de empresas com plantas industriais próprias e individuais, o conceito de PEIs aborda questões adicionais a respeito de atividades cooperativas inter-empresas.

A transição para PEIs inclui a conversão de um parque industrial tradicional que contenha plantas independentes, ilustrado na Figura 3, para uma estrutura interconectada com o compartilhamento de recursos como por exemplo água, energia elétrica, tratamento de efluentes e resíduos sólidos. A Figura 4 apresenta esse sistema de rede cíclica de um PEI (KASTNER, LAU e KRAFT, 2015).

A Figura 3 apresenta indústrias realizando processos individuais sem uma comunicação e/ou troca com outras ao seu redor. Embora isso não gere restrições nas suas atividades ela pode gerar um não aproveitamento de recursos ou compartilhamento de serviços que as beneficiaria economicamente e ambientalmente. Dessa forma, a evolução para a Figura 4 permite que subprodutos entre empresas e processos sejam trocados além da utilização de serviços compartilhados, como o uso de uma mesma estação de tratamento de esgoto.

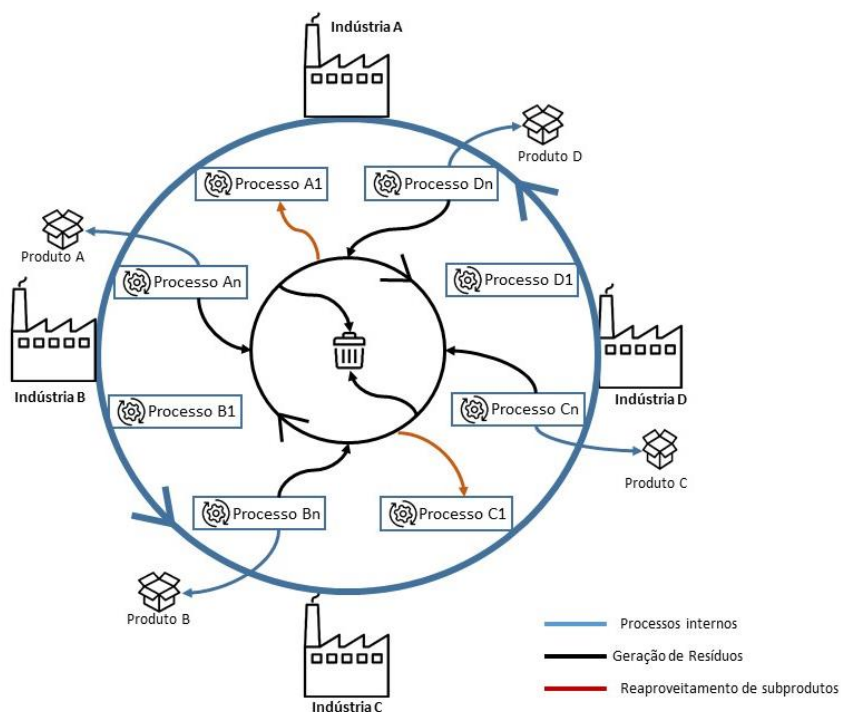
Figura 3 - Representação da estrutura de um parque industrial, onde há geração de bens e materiais para tratamento e descarte



Fonte: adaptado de (KASTNER et al., 2015).

A Figura 4 apresenta um modelo de estrutura de PEIs, onde os processos das indústrias geram produtos específicos, mas os subprodutos gerados durante esses processos podem ser reaproveitados por outras indústrias, reduzindo consideravelmente a geração de resíduos e criando um ciclo de troca de matérias e/ou serviços entre indústrias vizinhas.

Figura 4 - Representação geral de uma rede de indústrias cíclicas com N subsistemas trocas de materiais entre indústrias.



Fonte: Adaptado de (KASTNER et al., 2015)

Vale ressaltar que, até o momento, não foram encontrados registros na literatura sobre a existência de ecoparques industriais brasileiros, embora já tenham sido observadas iniciativas no Rio de Janeiro, que não prosperaram (TREVISAN et al., 2016).

#### 2.1.2.1 Modelo de referência: o caso do PEI Kalundborg: Kaludborg

O desenvolvimento da simbiose industrial em Kalundborg, Dinamarca, é descrito como um processo evolutivo onde uma quantidade de trocas de subprodutos aumentou gradativamente para uma rede

complexa de interações simbióticas entre cinco grandes empresas e o município local na década de 1960 (EHRENFELD, 2002). As empresas envolvidas inicialmente incluíam uma geradora de energia de 1,300-MW (Asnaes), uma refinaria de óleo (Statoil A/S), uma empresa farmacêutica (Novo Nordisk Novozymes Group), uma produtora de gesso (Gyproc Nordic East), e uma empresa de remediação de solos e produtora de adubo (Bioteknisk Jordrens Soilrem A/S).

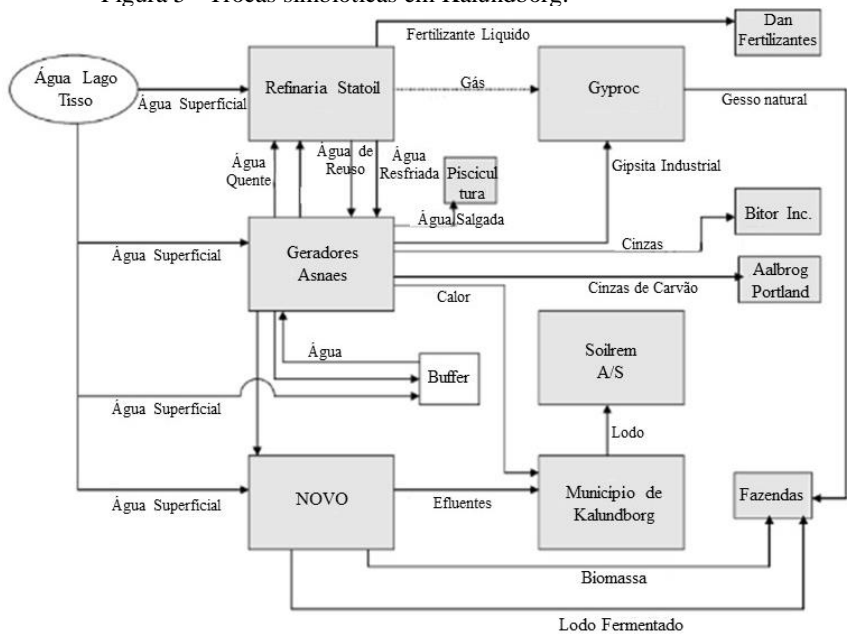
Além das empresas citadas anteriormente, outros agentes externos também estão envolvidos nas atividades simbióticas, recebendo subprodutos gerados por algumas das respectivas indústrias e utilizando-os como matéria-prima para suas atividades (EHRENFELD, 2002). É importante ressaltar que a colaboração entre indústrias começou por iniciativa própria dos empreendedores que buscavam, inicialmente, a redução de custos.

Como mostrado na Figura 5, os inúmeros fluxos entre empresas são baseados basicamente em trocas de água, resíduos sólidos e/ou energia. No parque industrial de Kalundborg, os efluentes líquidos e água para resfriamento são utilizados na empresa geradora de energia: os efluentes líquidos em processos secundários, e a água para resfriamento encaminhada para as caldeiras de produção de vapor e eletricidade e também como meio líquido para o processo de dessulfurização da empresa. O processo de dessulfurização, por sua vez, produz gipsita industrial que é utilizada na produção de gesso na Gyproc Nordic East, diminuindo parcialmente o consumo de gipsita natural (Jacobsen, 2006).

A planta geradora de energia também produz calor para a cidade de Kalundborg e vapor para a Novo Nordisk Novozymes e a refinaria Statoil A/S. As plantas da Novo são supridas de vapor para seus processos exclusivamente através da refinaria Statoil A/S. Essa por sua vez, possui capacidade suficiente para atender todas as demandas necessárias da Novo através de um sistema seguro de gasodutos. Além disso, a água de resfriamento aquecida que foi utilizada na planta geradora de energia após seu uso no processo de condensação é enviada para uma fazenda de peixes próxima, gerando um aumento em sua eficiência e garantindo uma produção ao longo de todo o ano. Por fim, resíduos sólidos como cinzas da combustão do carvão, lodo das plantas de tratamento de água e biomassa dos processos de fermentação biológica da empresa Novo são reciclados de diversas maneiras, tanto local quanto não-localmente. Na sua totalidade, a simbiose industrial em Kalundborg conta com uma média de aproximadamente vinte trocas de subprodutos entre as onze organizações principais envolvidas e um equilíbrio dinâmico entre essas respectivas trocas à medida que o mercado recebe inovações tecnológicas.



Figura 5 - Trocas simbióticas em Kalundborg.



Fonte: traduzido de (JACOBSEN, 2006) *apud* (HANSEN, 2003).

A evolução cronológica dos principais eventos que marcaram o surgimento e crescimento de práticas de simbiose industrial no distrito industrial de Kalundborg pode ser visto no Quadro 3. Vale ressaltar que somente alguns dos principais eventos cronológicos foram apresentados e que nem todos esses ainda estão acontecendo até o presente momento, como o fornecimento de butano para a Gyproc (EHRENFELD, 2002; RUIZ, 2013).

Quadro 3 Evolução cronológica dos principais eventos do parque industrial de Kalundborg.

1959	Asnaes Power Station é comissionada.
1961	Statoil é comissionada.
1964	Novo Nordisk Novozymes inicia suas operações.
1972	Gyproc inicia suas operações, utilizando o gás butano fornecido pela Statoil como combustível (primeira relação de simbiose).

1976	<i>Novo Nordisk Novozymes</i> inicia o fornecimento de lodo de efluentes para ser usado como fertilizante nas fazendas do entorno.
1979	<i>Asnaes</i> inicia a venda de cinzas volante para produtores de cimento.
1981	<i>Asnaes</i> fornece vapor para a prefeitura de Kalundborg para o uso no aquecimento residencial.
1982	<i>Asnaes</i> fornece vapor para <i>Statoil</i> e <i>Novo Nordisk Novozymes</i> .
1989	<i>Asnaes</i> fornece água quente para a produção de peixes.
1991	<i>Statoil</i> fornece seu efluente tratado para ser usado como água de limpeza na <i>Asnaes</i> .
1992	<i>Statoil</i> fornece gás para <i>Asnaes</i>
1993	<i>Asnaes</i> fornece gipsita para <i>Gyproc</i> .
1996	Criação do <i>Symbiosis institute</i> .
1998	Estação de esgotos da cidade fornece lodo para Bioteknisk Jordrens para utilização como nutriente para solos contaminados.

Fonte: adaptado de Gyproc (EHRENFELD, 2002; RUIZ, 2013).

Foram entre os anos de 1985 a 2000 que grande parte dos projetos acima relacionados foram implantados, ou seja, num espaço de tempo de 15 anos (LOWE, 2001). As vantagens econômicas através das trocas simbióticas em Kalundborg são estimadas em cerca de US\$ 12 a US\$ 15 milhões de dólares por ano (HEERES, VERMEULEN e DE WALLE, 2004). Mesmo sem um planejamento inicial objetivando ganhos econômicos e ambientais, Kalundborg evoluiu para a configuração de um Eco-Parque de renome, sendo frequentemente citado como a melhor evidência da viabilidade prática de um ecossistema industrial (FRAGOMENI, 2005). Os principais números alcançados através da simbiose estabelecida entre os vários parceiros são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Benefícios estimados através das trocas entre empresas de Kalundborg.

<b>Redução no consumo de recursos naturais</b>
45.000 ton/ano - óleo
15.000 ton/ano - carvão
600.000 m³/ano - água
<b>Redução na emissão atmosférica</b>

175.000 ton/ano - dióxido de carbono

10.200 ton/ano - dióxido de enxofre

---

### **Valorização de resíduos**

---

4.500 ton/ano - enxofre

90.000 ton/ano - sulfato de cálcio (gesso)

800.000 m<sup>3</sup>/ano (líquido) e 60.000 ton/ano (sólido) - fertilizante

130.000 ton/ano - cinzas

Fonte: (UNEP, 2003; FRAGOMENI, 2005).

## **2.2 MODELO DE MATURIDADE**

A maturidade pode ser entendida como a extensão em que o processo é explicitamente definido, gerenciado, medido, controlado e eficaz (Pereira et al., 2012). No âmbito empresarial, a maturidade se relaciona com o nível de desenvolvimento de determinada área da organização de acordo com parâmetros previamente estabelecidos, sendo esses parâmetros organizados em um processo evolutivo e utilizados para avaliar qual o nível de desenvolvimento da área em questão (Follmann, 2012). Os modelos de maturidade organizacionais podem ser tipicamente caracterizados por seus níveis, dimensões, respondentes e propósito (BATENBURG, NEPPELENBROEK e SHAHIM, 2014). Os modelos também são classificados de acordo com o propósito ao qual se direcionam:

- Descritivo: usado como ferramenta de diagnóstico (MAIER, et al., 2009);
- Prescritivo: utilizado para identificar níveis de maturidade desejados e prover diretrizes ou medidas de melhoria (BECKER, 2009);
- Comparativo: aplicado em uma grande gama de organizações para obter-se dados suficientes que viabilizem comparação válida (DE BRUIN, 2005).

## **2.3 Maturidade em Ecologia Industrial**

(Golev, Corder e Giurco (2015) apresentam uma proposta de modelo de maturidade no âmbito da simbiose industrial, onde as indústrias podem ser divididas em cinco níveis de maturidade. O modelo proposto foi

inicialmente desenvolvido por (Crosby (1979) e adaptado para a área de simbiose industrial.

- Estágio 1 (Não reconhecido)

O primeiro e menor nível de maturidade em SI está onde o conceito de SI não possui reconhecimento no local. Há diversas barreiras econômicas, regulatórias, comunicativas e de confiança que impedem a colaboração entre indústrias. Isso resulta em nenhum processo de sinergia com a maior parte dos fluxos de desperdícios não sendo reaproveitados. No entanto, há um grande potencial de desenvolvimento de projetos ecoeficientes nos níveis intra e inter-empresarial.

- Estágio 2 (Esforços iniciais)

O segundo estágio apresenta progresso no entendimento das indústrias quanto à importância de esforços na área ambiental, incluindo a necessidade para a colaboração entre diferentes empresas. Alguns projetos de sinergia já podem ter sido implementados ou, no mínimo, as oportunidades para o reuso de resíduos foram reconhecidas por algumas indústrias. Entretanto, ainda existem barreiras significativas no desenvolvimento desses projetos a não ser que haja uma demanda urgente para o desenvolvimento desses em certas indústrias.

- Estágio 3 (Ativo)

O estágio ativo significa o ponto de referência no desenvolvimento da SI. As indústrias apresentam interesse crescente na colaboração em diferentes esferas entre empresas vizinhas, e há evidências de trabalhos em conjunto bem-sucedidos, ou seja, um relacionamento interempresarial estruturado já é visível. Nesse estágio, o progresso em SI pode ter ocorrido durante diversos anos, incluindo a realização de diversos novos projetos de sinergia onde muitas oportunidades também estão sob pesquisa.

- Estágio 4 (Proativo)

No quarto estágio, a SI pode ser vista como madura. A investigação para novas oportunidades de sinergia acontece com frequência e tidas como procedimento padrão. A comunicação e troca de informações entre todas as indústrias do entorno e outros *stakeholders* é bem estabelecida e gerenciada. Existe uma estratégia para o desenvolvimento regional das indústrias, incluindo projetos de longa duração para a mitigação de impactos ambientais.

- Estágio 5 (Formação do futuro)

Finalmente, o último estágio na maturidade de SI descreve a situação onde indústrias e todos os seus *stakeholders* são capazes de, através da constante colaboração e confiança na troca de informações, realizar práticas de troca de insumos e compartilhamento de serviços e/ou utilitários de maneira prática e saudável. As perspectivas de longo prazo e benefícios são os principais direcionadores para o desenvolvimento regional.

Uma ferramenta de mensuração de maturidade em simbiose industrial deve refletir nas principais barreiras e facilitadores para projetos de sinergia amadurecerem e se desenvolverem, assim como ressaltar a importância de momentos evolutivos no desenvolvimento eco-industrial (GOLEV et al., 2015).

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo descreve os métodos de pesquisa científica que foram adotados ao longo do desenvolvimento do trabalho a fim de atingir os objetivos do mesmo. Além disso, também são descritas as etapas metodológicas utilizadas para a obtenção dos dados necessários para a realização do trabalho e suas análises.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Para a caracterização da pesquisa, busca-se classificá-la dentro de cinco critérios: área de pesquisa, natureza, objetivos, procedimentos técnicos e abordagem (Figura 6).

A área de pesquisa desse trabalho situa-se dentro da área das Engenharias, mais especificamente na área de Engenharia Ambiental. A natureza da pesquisa, ou seja, sua finalidade, é classificada como “Aplicada” por possuir finalidades imediatas, gerando produtos e/ou processos (GIL, 2008).

A classificação da pesquisa quanto aos seus objetivos é dada como “Exploratória”, pois este tipo de pesquisa envolve levantamento bibliográfico, entrevistas e análises de exemplos que facilitem a compreensão (GIL, 2008). A classificação da pesquisa quanto aos seus procedimentos técnicos é dada como “Estudo Descritivo” pois busca descrever características de determinada população, fenômeno ou estabelece relações entre variáveis. Para isso, utiliza procedimentos padrões para coleta de dados como, por exemplo, questionário e observação sistemática (CAUCHICK, 2007)

Por fim, a abordagem utilizada no trabalho é uma abordagem “Qualitativa ” pois o ambiente natural em questão é fonte direta para a coleta de dados, sem a utilização de recursos e técnicas estatísticas (CAUCHICK, 2007).

Figura 6 - Caracterização da Pesquisa

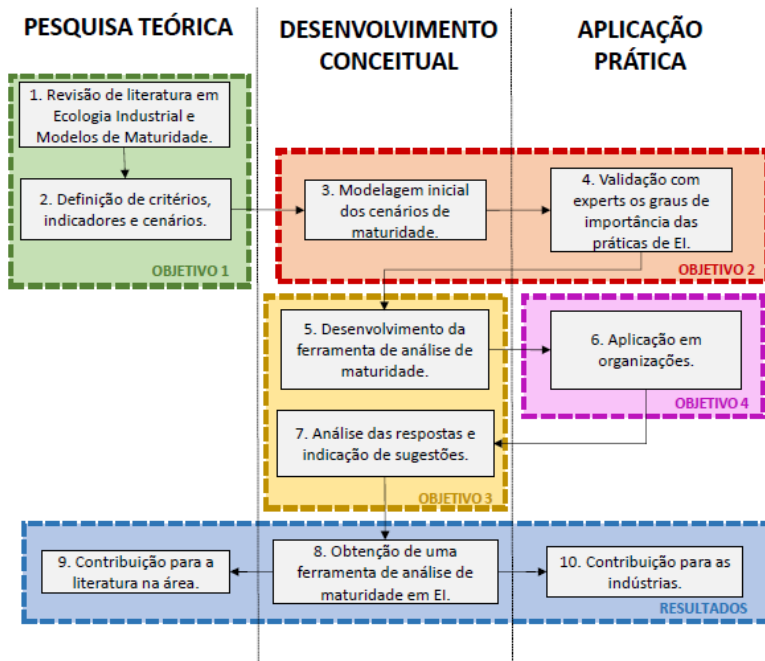


Fonte: Elaboração Própria

### 3.2 ETAPAS DA PESQUISA

A metodologia desenvolvida para que fosse possível atingir todos os objetivos definidos para a presente pesquisa pode ser vista na Figura 7. Três frentes de trabalho foram criadas, sendo a primeira “Pesquisa Teórica” que engloba todas as atividades de pesquisa e contribuição feitas com relação à literatura. A segunda frente “Desenvolvimento Conceitual” inclui atividades relacionadas com o desenvolvimento da ferramenta de análise de maturidade, enquanto a última frente “Aplicação Prática” apresenta as atividades que envolvem as organizações que foram estudadas.

Figura 7 - Metodologia Adotada



Fonte: Elaboração Própria

A Etapa 1 consistiu em um levantamento inicial de dados e informações relativos aos conceitos de Ecologia Industrial e suas principais práticas, como Simbiose Industrial, Parques Ecológicos Industriais, além de conteúdos sobre Modelos de Maturidade. Para este fim, foram utilizadas duas principais bases de dados, sendo elas SCOPUS e Google Scholar.

Com a delineação do problema da pesquisa feita e com um maior embasamento sobre os conteúdos a serem explorados na pesquisa, um levantamento bibliográfico específico para encontrar os principais parâmetros de avaliação e práticas de EI foi realizado (Etapa 2). Dessa forma, foi possível entender as principais formas e práticas de EI conhecidas e, com o auxílio de especialistas no assunto, seguir para as Etapas 3 e 4, onde foram modelados cenários e ranqueadas as iniciativas de EI por grau de importância com o auxílio da metodologia *Fuzzy AHP*, melhor explanada no capítulo 3.4.



As informações obtidas pelas entrevistas com os *especialistas* permitiram desenvolver um questionário de avaliação das empresas com diferentes pesos para as perguntas de acordo com o grau de importância das ações voltadas à EI (Etapa 5). Com o questionário desenvolvido e seu sistema de métricas atualizado, seguiu-se para a Etapa 6, onde foi realizada uma aplicação do mesmo em uma empresa com o objetivo de entender qual seu nível de maturidade no âmbito da EI e como ela pode seguir desenvolvendo práticas para se fortalecer na área.

Após a aplicação-teste do modelo desenvolvido em uma organização, foi feita a análise das respostas obtidas e gerado diversos insumos para auxiliar no desenvolvimento de novas práticas de EI (Etapa 7). Por fim, os resultados obtidos foram

Por fim, os principais resultados da pesquisa foram: uma ferramenta para análise de maturidade de EI (8), que contribui diretamente tanto no âmbito teórico (9), gerando mais informações e para a literatura nacional sobre o assunto, quanto para as indústrias que buscam desenvolver cada vez mais práticas ambientais que se integrem com a estratégia da empresa.

### 3.3 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS – BASE TEÓRICA PARA A FERRAMENTA

Uma etapa essencial para a realização dessa pesquisa foi a realização de uma revisão sistemática da literatura, de natureza teórica e qualitativa, com o objetivo de encontrar melhoras práticas, indicadores, ferramentas e barreiras relacionadas com a EI.

Primeiramente, foram definidos dois *strings* de busca para a pesquisa, sendo estes SCOPUS e Google Scholar. A primeira base de dados engloba a pesquisa principal; a segunda serviu como um verificador de possíveis artigos que não tivessem aparecido na pesquisa inicial. Todas as palavras-chave selecionadas foram utilizadas nessas duas bases de dados, com o objetivo de analisar a extensão de cobertura dos artigos na área de cada plataforma. Além disso, é importante ressaltar que o recorte temporal selecionado compreende os anos entre 2000 e 2018, intervalo no qual é possível observar uma evolução do número de publicações. Utilizando esse intervalo garante-se a cobertura do conteúdo essencial para a revisão uma vez que as publicações relevantes que antecedem o ano de 2000 já foram citadas nos trabalhos mais recentes e, portanto, seu conteúdo também foi considerado.

As palavras-chave e critérios de inclusão estão descritos na Tabela 2. É importante mencionar que em todas as opções de pesquisas nenhum

filtro foi selecionado, ou seja, todas as possíveis opções são abordadas (título, assunto, resumo, palavras-chave, artigos, revistas e periódicos). A coluna “Total de Artigos” corresponde à quantidade de artigos existentes para cada combinação de palavras-chave; os “Artigos Filtrados” correspondem aos artigos que foram selecionados com um critério de maior número de citações e alinhamento entre o título do artigo com o tema da pesquisa em questão. Vale ressaltar que foi realizada a leitura do *Abstract* de todos os artigos filtrados e os que demonstravam potencial de apresentar insumos relevantes para a pesquisa foram classificados como “Artigos Analisados” e lidos integralmente.

Tabela 2- Palavras-Chave selecionadas para a revisão de literatura

Palavras-Chave	Total de Artigos	Artigos Filtrados	Artigos Analisados
("Industrial Ecology" OR "Industrial Symbiosis") AND (Tool OR Practice OR KPI OR Index OR Indicator OR Maturity OR Evaluation OR Assessment)	1390	180	120
("Industrial Ecology" OR "Industrial Symbiosis") AND (Tool OR KPI AND Indicator)	47	47	8
("Industrial Ecology" OR "Industrial Ecosystems" OR "Industrial symbiosis") AND ("Best Practice")	22	22	4

Fonte: Elaboração Própria

Vale também ressaltar que foram encontrados 57 artigos repetidos entre as combinações de palavras-chave definidas, o que justifica a grande diferença entre “Artigos Filtrados” e “Artigos Analisados” da segunda e terceira opção de palavras-chave.

Após a leitura integral dos artigos, realizou-se uma compilação entre os principais indicadores, ferramentas, barreiras e boas práticas no âmbito da EI. A pesquisa teórica também auxiliou na forma de classificação das diferentes práticas de EI existentes, sendo realizada uma distinção das práticas de EI em três grandes esferas, como visto no Quadro 4.

Quadro 4 - Esferas da Ecologia Industrial Adotadas

Esferas		
Empresarial	Interempresarial	Regional/Global
Atividades desenvolvidas dentro da própria empresa, com o objetivo de entender as fontes poluidoras e tentar mitigá-las internamente da melhor maneira possível.	Realização de atividades em conjunto com outras organizações, em especial com aquelas mais próximas geograficamente. Elas podem acontecer através do intercâmbio de subprodutos ou com o compartilhamento de serviços e utilitários, por exemplo.	Relação entre as atividades desenvolvidas pelas empresas e a sociedade ao seu entorno, engloba seus principais stakeholders buscando desenvolver ações conjuntas para a mitigação dos impactos ambientais gerados por seus processos.
Autores: Lifset & Graedel (2002); Chertow (2007); Saraceni (2014); Clift & Druckman (2016)		

Fonte: Elaboração Própria

Além da divisão em grandes esferas da EI ainda é possível classificar as suas práticas em domínios de abordagem para auxiliar na sua classificação e entendimento. Heeres et al. (2004), Korhonen et al. (2004) e Saraceni (2014) apontam alguns domínios essenciais para que seja formada uma rede de interação como as áreas técnica, econômica e organizacional. Através do levantamento realizado durante a revisão de literatura, foram definidos cinco domínios de funcionamento que são considerados essenciais para a implementação e/ou execução de práticas de EI (Quadro 5).

Quadro 5 - Domínios de funcionamento da Ecologia Industrial

Domínios	Definição
Técnico	Relação entre a capacidade humana e máquina necessária para a execução de fluxos de troca, aliados com ferramentas e indicadores de apoio na área.
Econômico	Análises que englobam se os processos são economicamente viáveis ou não apresentando seus riscos econômicos relevantes relacionados com o fluxo de materiais, custos logísticos, de oportunidade e entre relações com outros agentes.
Comunicativo	Nível de interação entre as partes que participam dos processos, envolvendo meios de comunicação, responsáveis e conteúdo informativo. Outro campo abordado é a comunicação do alinhamento interno entre todas as áreas da organização perante as atividades desenvolvidas na área de EI.
Regulatório	Leis, políticas e normas utilizadas dentro do âmbito da EI. Engloba também o nível contratual entre organizações para a realizações de processos de troca e compartilhamento de serviços e/ou utilitários.
Inovativo	Relação das melhores práticas e modelos encontrados na literatura que podem ser aplicados no cotidiano das organizações. Envolve práticas de diversos setores e níveis de integração buscando sempre obter resultados positivos para a EI.
Autores: Lifset & Graedel (2002); Moller & Schaltegger (2005); Chertow (2007); Tudor, Adam, & Bates (2007); Davis, Nikolic, & Dijkema (2010); Grant, Seager, Massard, & Nies (2010); Saraceni (2014); Clift & Druckman (2016)	

Fonte: Elaboração Própria

### 3.4 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS – BASE MATEMÁTICA PARA A FERRAMENTA

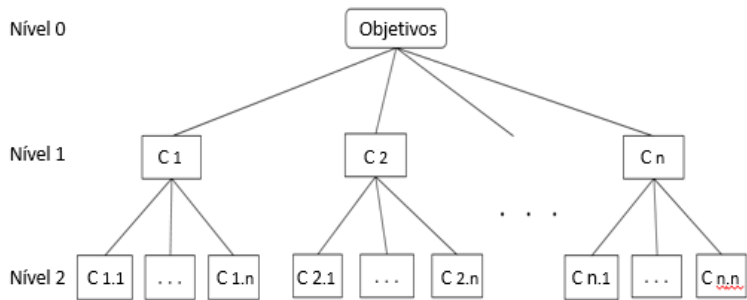
#### 3.4.1 Método de Análise Hierárquica

Muitas metodologias podem ser utilizadas para realizar o ranqueamento de áreas, práticas e conceitos. Uma metodologia muito conhecida é o Processo de Análise Hierárquica (AHP), desenvolvido por Saaty (1988), como uma ferramenta quantitativa para o auxílio na tomada de decisão usando uma comparação sistemática de fatores, comparando-os um ao outro, em pares.

Desde a sua introdução, a AHP tornou-se um dos métodos de tomada de decisão multicritérios mais utilizados (LEE, 2008) e pode ser utilizada integrada com um vasto número de outras ferramentas de auxílio na tomada de decisão como programação linear, funções qualitativas e a lógica *fuzzy* (VAIDYA e KUMAR, 2006).

O método AHP auxilia na descrição da tomada de decisão realizando uma linha lógica semelhante com a linha de pensamento natural humana através da decomposição de um problema complexo em uma estrutura de diversos níveis hierárquicos (Figura 8) de objetivos e alternativas (HUANG, SHEORAN e WANG, 2004). Outra vantagem na utilização do AHP é a possibilidade de comparar alternativas não-similares entre elas (KUBLER et al., 2016), e isso somente é possível pelo sistema imparcial e lógico de pesos que reduz as falhas humanas durante sua avaliação.

Figura 8 - Árvore de decisões AHP.



Fonte: Adaptado de (Klen, Caninéo, Reitz e Bouzon, 2017).

3.4.2 Números *Fuzzy*

A teoria do Conjunto *Fuzzy* foi desenvolvida por Zadeh (1988), com o objetivo de auxiliar os pesquisadores a consolidarem e quantificarem conceitos tidos como imprecisos, em áreas como social e política. Zadeh (1988) afirma que a lógica *fuzzy* permite representar pensamentos humanos imprecisos que, todavia, são importantes em tomadas de decisão racionais, para valores mais exatos e quantificáveis.

A metodologia do conjunto *fuzzy* é muito diversificada e pode ser aplicada de diversas maneiras. Saraceni (2014) apresenta alguns exemplos de pensamentos que podem variar a partir da percepção de cada usuário (Quadro 6), onde a lógica *fuzzy* pode auxiliar numa quantificação das linhas de pensamento de cada usuário.

Quadro 6 - Características da Lógica *Fuzzy*.

Características	Exemplo
Está baseada em palavras e não em números, ou seja, os valores verdade são expressos linguisticamente	Quente, muito frio, verdade, longe, perto, rápido, vagaroso, médio
Possui diversos modificadores de predicado	Muito, mais ou menos, pouco, bastante, médio.
Possui amplo conjunto de quantificadores	Poucos, vários, em torno de, usualmente

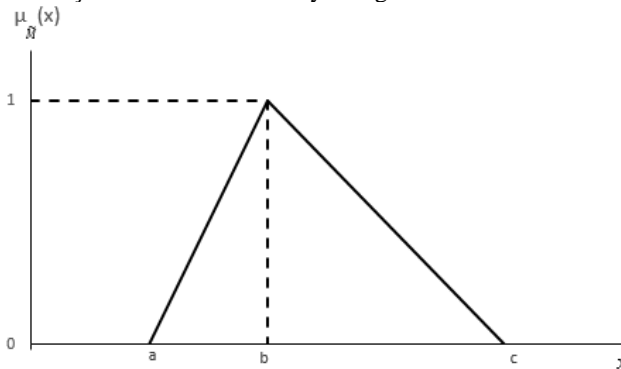
Fonte: Adaptado de (Saraceni, 2014).

Chang (1992) foi o primeiro a apresentar uma metodologia de avaliação que combinasse AHP com *Fuzzy*, com o objetivo de lidar com

a incerteza de respostas e representar um valor mais exato quanto a opinião dos respondentes através da priorização dos seus critérios e pesos.

Em casos onde um número real não é conhecido com exatidão, esse número é então definido através de um intervalo *fuzzy*. Para isso é utilizado o número *fuzzy*, que permite definir um intervalo *fuzzy* nos números reais,  $\mathbb{R}$ . Os números *fuzzy* mais comuns para esse intervalo são os triangulares, que trazem um intervalo representado por dois pontos extremos  $a$  e  $c$  que representam, respectivamente, o menor e o maior valores possíveis, enquanto  $b$  representa o valor mais forte da sua função de existência ( $\mu_f(x) = 1$ ), como visto na Figura 9. A função triangular de números *fuzzy* respeita a condição dita por Kaufmann e Gupta (1991) de que quando  $a = b = c$ , então não poderá ser considerado um número *fuzzy*.

Figura 9 - Função de um número fuzzy triangular.



Fonte: Adaptado de Lee, A. et al.

Os valores  $(a, b, c)$  variam entre  $\mathbb{R}$ :  $-\infty < a \leq b \leq c < \infty$  e a função  $\mu_f(x)$  encontra-se no intervalo fechado de  $[0, 1]$  (EFENDIGIL, ÖNUT e KONGAR, 2008).

Para definir um conjunto *fuzzy* como um número *fuzzy*, o mesmo deve seguir às seguintes condições:

- Estar definido nos números reais;
- A função de pertinência deve ser contínua;
- O conjunto *fuzzy* deve ser normalizado;
- O conjunto *fuzzy* deve ser convexo.

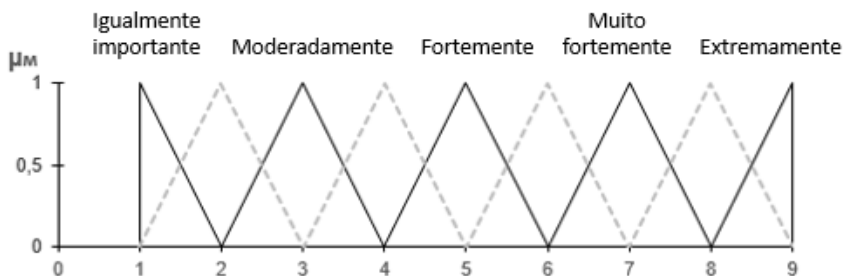
Sendo que a condição de normalização implica que o valor máximo do grau de pertinência é 1, conforme as fórmulas 1 **Erro! Fonte d e referência não encontrada.** e 2 para os números *fuzzy* triangulares.

$$\exists x \in R, \quad \mu_A(x) = 1 \quad (1)$$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2)$$

Para esse trabalho, estabeleceu-se que os números *fuzzy* seriam simbolizados com um til (~), variando entre 1 até 9 (faixa numérica de comparação selecionada) e as variáveis usadas seriam expressas em números *fuzzy* triangulares como visto na Figura 10, conforme sugerido por Efendigil et al. (2008). Além disso, a figura mostra a diferença entre os valores com números reais (linhas contínuas) e números *fuzzy* (linhas pontilhadas).

Figura 10 - Variáveis linguísticas para a importância de pesos em cada critério.



Fonte: Adaptado de (Klen et al., 2017)

A

Tabela 3 mostra a correlação entre os valores selecionados com o sistema AHP e, depois, analisados com uma aproximação de lógica *fuzzy*. Além disso, também apresenta o domínio *fuzzy* e seu número *fuzzy* triangular.



Tabela 3 - Cálculo para transformação dos números do AHP para *Fuzzy*  
AHP (FAHP)

Escala de Importância	Taxa numérica para AHP	Números Fuzzy para FAHP	Função de pertencimento	Domínio	Escala do número Fuzzy Triangular ( $l, m, u$ )
Igualmente Importante	1	$\tilde{1}$		$x = 1$	(1.0, 1.0, 1.0)
Moderadamente	3	$\tilde{3}$	$\mu_{\tilde{3}}(x) = (4 - x) / (4 - 2)$ $\mu_{\tilde{3}}(x) = (x - 2) / (4 - 2)$	$2 \leq x \leq 4$ $2 \leq x \leq 4$	(2.0, 3.0, 4.0)
Fortemente	5	$\tilde{5}$	$\mu_{\tilde{5}}(x) = (6 - x) / (6 - 4)$ $\mu_{\tilde{5}}(x) = (x - 4) / (6 - 4)$	$4 \leq x \leq 6$ $4 \leq x \leq 6$	(4.0, 5.0, 6.0)
Muito Fortemente	7	$\tilde{7}$	$\mu_{\tilde{7}}(x) = (8 - x) / (8 - 6)$ $\mu_{\tilde{7}}(x) = (x - 6) / (8 - 6)$	$6 \leq x \leq 8$ $6 \leq x \leq 8$	(6.0, 7.0, 8.0)
Extremamente	9	$\tilde{9}$	$\mu_{\tilde{9}}(x) = (10 - x) / (10 - 8)$ $\mu_{\tilde{9}}(x) = (x - 8) / (10 - 8)$	$8 \leq x \leq 10$ $8 \leq x \leq 10$	(8.0, 9.0, 10.0)
Valores intermediários entre as escalas adjacentes	2, 4, 6, 8	$\tilde{2}, \tilde{4}, \tilde{6}, \tilde{8}$			
Se o fator $i$ possuir um dos números acima relacionado a ele quando comparado ao fator $j$ , então $j$ possui um valor recíproco quando comparado com $i$	Recíprocos dos acima				Recíprocos dos acima $M_i^{-1} \approx (1/\mu_i, 1/m_i, 1/l_i)$

Fonte: Adaptado de Efendigil et al. (2008); Cella et al. (2017).

## 4 RESULTADOS – MODELO DE MATURIDADE

Com o objetivo de desenvolver uma ferramenta que possibilitasse medir o nível de maturidade de organizações na área de Ecologia Industrial, o trabalho foi estruturado em 4 etapas principais:

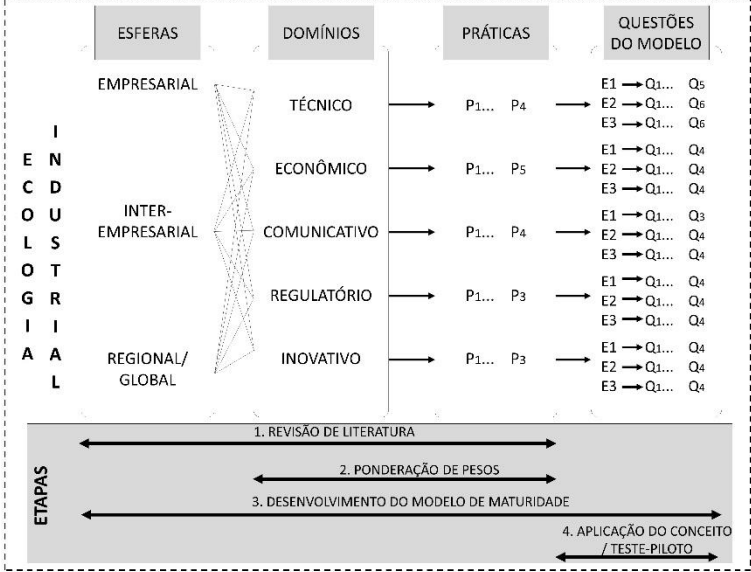
1. Revisão de literatura para entender os pontos-chave existentes dentro de EI e possibilitar a classificação dos conceitos e práticas encontrados;
2. Ponderação de pesos por especialistas no assunto;
3. Elaboração do modelo de maturidade;
4. Aplicação do modelo de maturidade.

A Figura 11 ilustra as etapas descritas anteriormente, desde a fundamentação dentro da revisão de literatura até a criação de questões que possibilitaram o desenvolvimento do modelo de maturidade e sua aplicação em um ambiente empresarial.

Vale ressaltar os seguintes conceitos:

- **Esfera:** Universo de estudo onde uma prática de EI se encontra;
- **Domínios:** Fatores considerados relevantes para a boa implantação de práticas de EI e/ou execução das mesmas;
- **Práticas:** Processos ou atividades realizadas pelas organizações.

Figura 11 - Etapas do desenvolvimento do Modelo de Maturidade



Fonte: Elaboração Própria

Durante a Etapa 1 foram analisados conceitos importantes que englobam a EI como classificações, indicadores, barreiras e práticas. Esse estudo possibilitou o embasamento para a classificação da EI em três esferas relacionadas aos seus níveis de integração: Empresarial, Interempresarial e Regional/Global. Adicionalmente, uma classificação acerca das áreas em que uma organização precisa atuar para desenvolver boas práticas de EI resultou na definição de cinco domínios principais: Técnico, Econômico, Comunicativo, Regulatório e Inovativo. Para cada um dos domínios definidos foram listadas práticas encontradas na literatura, utilizadas para gerar um ambiente propício para a aplicação da EI em organizações.

Essas práticas (Pn) associadas aos seus respectivos domínios foram, posteriormente, ponderadas por especialistas no assunto (Etapa 2) através de uma análise de importância pareada para que fosse possível criar pesos de medida dentro do modelo de maturidade (mais detalhes sobre ponderação de pesos encontram-se nas subseções 4.1, 4.2 e 4.3).

Cada domínio gerou uma série de questões (Qn) que possuíam pesos diferentes a partir das respostas dos especialistas possibilitando, assim, o desenvolvimento da ferramenta para mensuração do grau de maturidade e potencial de desenvolvimento de organizações no âmbito da

EI (Etapa 3). Essas questões foram classificadas para as três esferas existentes ( $E_n$ ). É possível perceber que, em alguns casos, as quantidades de questões de certos domínios variam quando mudam de esferas, isso acontece devido a algumas práticas da EI serem restritas a somente certas esferas de representação. Mais informações acerca dessa Etapa encontram-se na subseção 4.4.

Finalmente, na Etapa 4, a ferramenta desenvolvida foi aplicada para ser validada em um ambiente operacional. Detalhes dessa aplicação estão na subseção 4.5.

#### 4.1 Aplicação do Questionário

Com o objetivo de inserir pesos para cada domínio da EI e suas práticas internas, cinco especialistas em áreas da EI ou relacionadas, com experiências práticas e/ou acadêmicas (seus perfis encontram-se no Quadro 7), foram convidados a responder um questionário (APÊNDICE A).

A análise realizada pelos especialistas foi baseada na lógica AHP, fazendo uma comparação par-a-par dos domínios listados da EI e também de suas principais práticas.

Quadro 7 - Perfil dos *experts* respondentes

Participantes	Descrição
Expert 1	Professora do departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, com doutorado na área de Logística Reversa e linhas de pesquisa voltadas para Logística, Cadeia de Suprimentos, Gestão Ambiental e Gerenciamento de Projetos.
Expert 2	Professora do departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, com pós-doutorado na área de Sustentabilidade. Atuou como gerente de meio ambiente e saúde em organizações e possui linhas de pesquisa nas áreas de Gestão Ambiental, Produção mais Limpa e Sustentabilidade.
Expert 3	Professor de Engenharia da Universidade de São Paulo, com linhas de pesquisa em Desenvolvimento de Produtos, Gestão do ciclo de vida de produtos, Planejamento da Inovação e Ecodesign.
Expert 4	Consultor independente para organizações ambientais e sociais, com doutorado em Engenharia Ambiental e linhas de pesquisa voltadas para Ecologia Industrial, Gestão Ambiental e Planejamento Ambiental.
Expert 5	Consultor e desenvolvedor técnico para projetos de sustentabilidade empresarial voltados a grandes empresas. Possui linhas de projetos voltados para Planejamento e Controle da produção, Gestão Sustentável e Ecologia Industrial.

Fonte: Elaboração Própria

O questionário foi concebido com o *software Excel* e levando em consideração que o processo de preenchimento deveria poder ser realizado sem a assistência direta do pesquisador. Isso gerou a necessidade do desenvolvimento de uma apresentação introdutória sobre o tema e a contextualização do trabalho em questão, além da criação de uma lista restrita de valores possíveis ao preenchimento (Tabela 4).

Os especialistas respondentes receberam o questionário via e-mail, que contou com uma taxa de resposta de 100%, sem necessidade de buscar outros especialistas na área. Vale ressaltar que não houve necessidade de interação para esclarecimento de eventuais dúvidas.

Tabela 4 - Faixa numérica de comparação

Valor	Nível de Comparação
9	Importância Absoluta
8	Valor Intermediário
7	Muito mais importante
6	Valor Intermediário
5	Mais importante
4	Valor Intermediário
3	Levemente mais importante
2	Valor Intermediário
1	Igualmente importante
1/2	Valor Intermediário
1/3	Levemente menos importante
1/4	Valor Intermediário
1/5	Menos importante
1/6	Valor Intermediário
1/7	Muito menos importante
1/8	Valor Intermediário
1/9	Absolutamente não importante

Fonte: Elaboração Própria

#### 4.2 Análise do Questionário – AHP

Antes da realização das análises dos questionários preenchidos, fez-se necessário analisar se o índice de consistência das respostas não possuía valores muito altos. O índice de consistência indica se uma informação preenchida pelos especialistas está alinhada com outras respostas dadas pelo mesmo especialista. Por exemplo, se em uma resposta o domínio “Técnico” é considerado “Muito mais importante” que o domínio “Econômico”, então quando perguntado sobre o domínio “Econômico”, ele deve ser preenchido como “Muito menos importante” do que o domínio “Técnico”. O valor adotado para a taxa de consistência foi de 0.1, conforme sugerido por Efendigil et al. (2008). Caso alguma resposta ultrapassasse esse valor, o respondente deveria ser acionado para realizar as devidas correções. Como esse valor não foi atingido por nenhum dos respondentes, não houve a necessidade de acioná-los para ações corretivas.

O resultado unitário por especialista dos pesos obtidos após a compilação dos resultados - usando somente o método AHP - pode ser visto entre a Tabela 5 e Tabela 10.

Tabela 5 - Compilação dos pesos por *Expert* usando a metodologia AHP para os Domínios

<b>Domínios</b>	<b>Técnico</b>	<b>Econômico</b>	<b>Comunicativo</b>	<b>Regulatório</b>	<b>Inovativo</b>
Expert 1	0,139	0,347	0,038	0,363	0,063
Expert 2	0,064	0,393	0,074	0,393	0,074
Expert 3	0,190	0,465	0,083	0,197	0,034
Expert 4	0,062	0,368	0,150	0,368	0,036
Expert 5	0,154	0,110	0,073	0,156	0,074
MÉDIA	0,110	0,303	0,076	0,276	0,053
DESVPAD	0,0566	0,1345	0,0410	0,1102	0,0197

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 6 - Compilação dos pesos por *Expert* usando a metodologia AHP para o domínio Técnico

<b>Técnico</b>	<b>Ferramentas/Indicadores</b>	<b>Nível Tecnológico</b>	<b>Recursos Humanos</b>	<b>Capacidade Logística</b>
Expert 1	0,105	0,105	0,674	0,114
Expert 2	0,133	0,303	0,303	0,230
Expert 3	0,249	0,065	0,589	0,065
Expert 4	0,494	0,589	0,311	0,067
Expert 5	0,152	0,096	0,572	0,161
MÉDIA	0,192	0,163	0,463	0,113
DESVPAD	0,159	0,221	0,171	0,070

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 7 - Compilação dos pesos por *Expert* usando a metodologia AHP para o domínio Econômico

<b>Econômico</b>	<b>Produtividade</b>	<b>Rentabilidade</b>	<b>Diferenciais Competitivos</b>	<b>Investimentos</b>	<b>Capacidade Operacional</b>
Expert 1	0,188	0,364	0,168	0,117	0,035
Expert 2	0,077	0,490	0,217	0,047	0,083
Expert 3	0,154	0,500	0,178	0,039	0,068
Expert 4	0,433	0,280	0,149	0,082	0,049
Expert 5	0,200	0,453	0,106	0,061	0,137
MÉDIA	0,181	0,408	0,159	0,064	0,067
DESVPAD	0,133	0,093	0,041	0,031	0,039

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 8 - Compilação dos pesos por *Expert* usando a metodologia AHP para o domínio Comunicativo

<b>Comunicativo</b>	<b>Envolvimento De Gestores</b>	<b>Compartilhamento De Informações</b>	<b>Participação Em Eventos</b>	<b>Nível De Relacionamentos</b>
Expert 1	0,137	0,137	0,030	0,630
Expert 2	0,440	0,092	0,043	0,206
Expert 3	0,244	0,097	0,035	0,430
Expert 4	0,398	0,270	0,041	0,081
Expert 5	0,316	0,158	0,035	0,206
MÉDIA	0,284	0,139	0,036	0,247
DESVPAD	0,121	0,072	0,005	0,219

Tabela 9 - Compilação dos pesos por *Expert* usando a metodologia AHP para o domínio Regulatório

<b>Regulatório</b>	<b>Legislação</b>	<b>Políticas Públicas / Incentivos Fiscais</b>	<b>Normatização</b>
Expert 1	0,333	0,333	0,333
Expert 2	0,444	0,444	0,111
Expert 3	0,600	0,200	0,200
Expert 4	0,400	0,200	0,400
Expert 5	0,600	0,200	0,200
MÉDIA	0,463	0,260	0,226
DESVPAD	0,120	0,111	0,116

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 10 - Compilação dos pesos por *Expert* usando a metodologia AHP para o domínio Inovativo

<b>Inovativo</b>	<b>Novas Parcerias</b>	<b>Alinhamento Estratégico</b>	<b>Busca Por Boas Práticas</b>
Expert 1	0,163	0,279	0,477
Expert 2	0,200	0,600	0,200
Expert 3	0,115	0,602	0,263
Expert 4	0,078	0,653	0,261
Expert 5	0,174	0,632	0,191
MÉDIA	0,138	0,529	0,263
DESVPAD	0,049	0,155	0,116



Fonte: Elaboração Própria.

### 4.3 Análise do Questionário – Fuzzy AHP

A análise da subjetividade de pensamentos qualitativos de maneira quantitativa é, muitas vezes, difícil (Hsu, 2010). Para minimizar essa dificuldade, foi aplicada a lógica *Fuzzy* à análise dos resultados obtidos à fim de diminuir a imprecisão associada.

A Tabela 11 mostra uma compilação do resultado usando somente AHP e também com o refinamento da lógica *Fuzzy*.

Tabela 11 - Compilação dos pesos calculados com os dois métodos (AHP e *Fuzzy* AHP).

ÁREA		ATIVIDADES				
DOMÍNIO	AHP	Técnico	Econômico	Comunicativo	Regulatório	Inovativo
	FUZZY	0,110	0,303	0,076	0,276	0,053
TÉCNICO	AHP	Ferramentas/Indicadores	Nível Tecnológico	Recursos Humanos	Capacidade Logística	
		0,114	0,402	0,106	0,324	0,054
	FUZZY	0,192	0,163	0,463	0,113	
	FUZZY	0,217	0,135	0,520	0,128	
ECONÔMICO	AHP	Produtividade	Rentabilidade	Diferenciais Competitivos	Investimentos	Capacidade Operacional
		0,181	0,408	0,159	0,064	0,067
	FUZZY	0,202	0,460	0,186	0,075	0,077
COMUNICATIVO	AHP	Envolvimento de gestores	Compartilhamento de informações	Participação em eventos	Nível de relacionamento	
		0,284	0,139	0,036	0,247	
	FUZZY	0,353	0,218	0,071	0,358	
REGULATÓRIO	AHP	Legislação	Políticas Públicas / Incentivos Fiscais	Normatização		
		0,463	0,260	0,226		
	FUZZY	0,483	0,278	0,239		
INOVATIVO	AHP	Novas Parcerias	Alinhamento Estratégico	Busca Por Boas Práticas		
		0,138	0,529	0,263		
	FUZZY	0,151	0,563	0,286		

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que, por mais que os resultados sejam semelhantes, todos os valores possuem diferenças numéricas quando realizadas comparações entre os dois métodos. Assim, análises não tão precisas poderiam ser realizadas caso fosse utilizada somente a metodologia AHP. Um exemplo claro é dado pelo domínio “Comunicativo”, prática “Nível de relacionamento”, onde a diferença de valores chegou a 44%. Isso

evidencia a importância do tratamento dos dados finais com a metodologia *Fuzzy*.

#### 4.4 Desenvolvimento da Ferramenta

O modelo de maturidade desenvolvido para a presente pesquisa, foi construído a partir das informações levantadas durante a revisão de literatura e seus pesos foram baseados nas respostas obtidas de especialistas no assunto.

É importante ressaltar que nem sempre todas as atividades apresentadas nos domínios do questionário enviado aos *experts* são contempladas em todas as três esferas da EI (Empresarial, Interempresarial e Regional/Global). Isso acontece pelo fato de que certas atividades acontecem somente em algumas esferas específicas.

O modelo de maturidade proposto encontra-se no Apêndice B e é composto pelas seguintes páginas:

- Introdução: apresenta o modelo e a forma de preenchimento com que deve ser realizada;
- Ecologia Industrial: introduz ao respondente informações pertinentes sobre o conceito de EI e suas principais práticas;
- Menu: compila todos os *links* para acesso ao restante das abas do modelo;
- Dados Iniciais: coleta dados básicos da organização respondente;
- Empresarial: apresenta as perguntas relacionadas à esfera Empresarial;
- Interempresarial: apresenta as perguntas relacionadas à esfera Interempresarial;
- Regional/Global: apresenta as perguntas relacionadas à esfera Regional/Global;

Os valores de resposta foram baseados pela escala de *Likert*, que segundo Júnior e Costa (2014) garante um bom grau de confiabilidade na resposta e facilidade no tratamento de dados. Nela, uma escala de um até cinco foi apresentada para avaliar o nível de integração que a organização possui com a prática em questão, sendo um o valor mais baixo e cinco o mais alto.

#### 4.5 Aplicação da Ferramenta – Teste Piloto – e Conclusões Preliminares

Com o objetivo de validar a ferramenta desenvolvida e avaliar aspectos de Ecologia Industrial dentro de uma organização, foi realizada uma aplicação piloto do Modelo de Maturidade.

A empresa escolhida para essa aplicação é do ramo da saúde com foco na elaboração de exames diagnósticos como exames radiológicos, anátomo-patológicos e genéticos. Para que seja possível obter os laudos desses exames, uma série de procedimentos são realizados no chamado Núcleo Técnico Operacional (NTO) que funciona como uma indústria de exames. A empresa possui mais de sessenta anos de atuação no mercado, contando com mais de dois mil colaboradores e uma receita bruta anual que excede um bilhão de reais.

A partir dessas informações iniciais coletadas, foi possível perceber que a empresa possui um potencial interessante para a realização de práticas de Ecologia Industrial e, com a aplicação do Modelo de Maturidade, esperava-se entender se a empresa já possui práticas na área, se está preparada para iniciar novas práticas e onde ela poderia se desenvolver para isso.

Pelo fato de existirem várias diferenças entre organizações devido ao seu porte, área de atuação e regionalidade, a ferramenta desenvolvida ainda não apresenta uma configuração que permite um preenchimento individual por organização. Desse modo, a aplicação foi realizada em forma de entrevista estruturada presencial com o diretor da área ambiental da empresa, responsável por áreas como gerenciamento de resíduos sólidos, legislações ambientais, práticas de gestão ambiental e sustentabilidade.

Dentro do modelo cada esfera conta com duas etapas de perguntas. A primeira parte possui questões relativas à processos e atividades comumente conhecidos dentro da EI, onde a organização deveria responder se prática ou não a mesma na escala de 1 a 5. Dessa maneira, é possível entender a situação atual da organização quanto à suas práticas de EI que ela já executa.

A segunda etapa apresenta questões para cada domínio previamente definido que tem como objetivo medir como a organização está preparada dentro desses quesitos. Como os

domínios são balizadores e pré-requisitos importantes para diversas práticas da EI, eles demonstram quão preparada a empresa está para realizar essas práticas.

A Tabela 12 apresenta as respostas da empresa para a primeira bateria de questões.

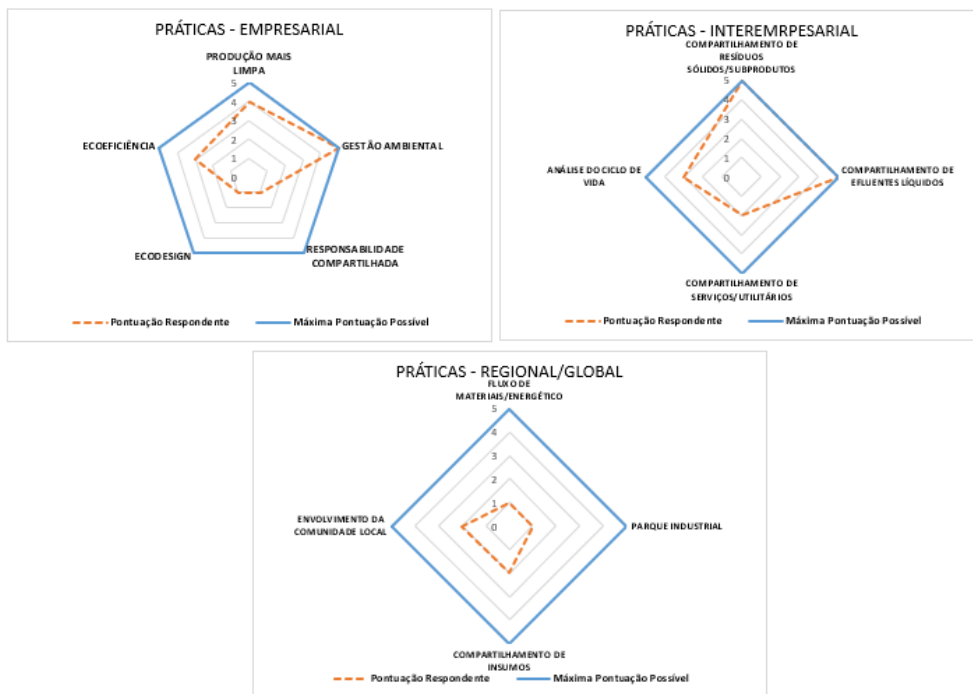
Tabela 12 - Pontuação de práticas já executadas em EI

EMPRESARIAL	Práticas	Pontuação Respondente	1
	PRODUÇÃO MAIS LIMPA	4	
	GESTÃO AMBIENTAL	5	
	RESPONSABILIDADE COMPARTILHADA	1	
	ECODESIGN	1	
	ECOEFIÊNCIA	3	
INTEREMPRESARIAL	Práticas	Pontuação Respondente	1
	COMPARTILHAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS/SUBPRODUTOS	5	
	COMPARTILHAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS	5	
	COMPARTILHAMENTO DE SERVIÇOS/UTILITÁRIOS	2	
	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA	3	
COMUNICATIVO	Práticas	Pontuação Respondente	1
	FLUXO DE MATERIAIS/ENERGÉTICO	1	
	PARQUE INDUSTRIAL	1	
	COMPARTILHAMENTO DE INSUMOS	2	
	ENVOLVIMENTO DA COMUNIDADE LOCAL	2	

Fonte: Elaboração própria.

Os valores dados para cada uma dessas práticas também são apresentados nos gráficos da Figura 12. Considerando que a maior nota possível seria o valor cinco, os gráficos comparam as notas recebidas em cada prática/processo (linha tracejada) com a maior nota possível (linha contínua).

Figura 12 - Gráficos com a pontuação das atividades já realizadas de EI em cada esfera.



Fonte: Elaboração própria

A partir da análise dos gráficos, é possível afirmar que a empresa possui algumas práticas bem consolidadas nas esferas “Empresarial” e “Interempresarial”, como “Produção mais Limpa”, “Gestão Ambiental” (na primeira esfera) e “Compartilhamento de Resíduos Sólidos” e “Compartilhamento de Efluentes Líquidos” (na segunda esfera).

Além disso, é possível perceber áreas com uma pontuação relativamente baixa, em especial na esfera “Regional/Global”, o que gera um ponto de atenção caso os gestores busquem investir em novas práticas de EI.

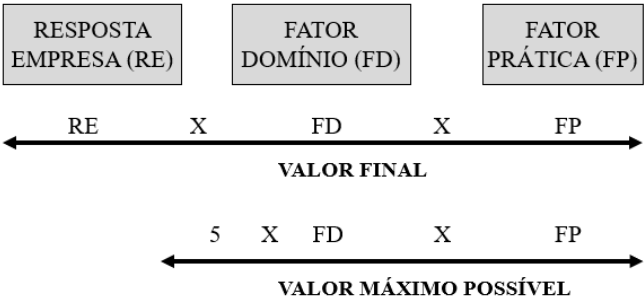
A segunda etapa do questionário analisa a empresa dentro da visão de cinco domínios: Técnico, Econômico, Comunicativo, Regulatório e Inovativo. Esses domínios foram definidos a partir da revisão de literatura como pontos necessários para a boa implantação e execução de práticas da EI dentro de organizações.

Para obter as notas finais de cada prática foram utilizados os seguintes fatores:

- Resposta da Empresa, podendo variar entre 1 à 5;
- Fator do Domínio, obtido através da análise das opiniões dos experts quanto a importância de cada um dos cinco domínios;
- Fator da prática; obtido através da análise das opiniões dos experts quanto a importância de cada uma das diversas práticas apresentadas;
- Nota máxima, valor correspondente à maior nota que a empresa poderia dar (que seria 5).

A forma de cálculo para a nota que cada prática recebeu (Valor Final) e a maior nota que ela poderia ter recebido (Valor Máximo Possível) é apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Método de cálculo do "Valor Final" e "Valor Máximo Possível"



Fonte: Elaborado pelo autor.

As respostas obtidas juntamente com a pontuação por domínio e por prática podem ser vistas nas Tabela 13, 14 e 15.

A última coluna das tabelas “Valor normalizado em escala de 0 a 10” serve para facilitar a visualização inicial das “Notas Finais” de cada domínio e/ou prática, já que é uma faixa utilizada com mais frequência em nosso cotidiano (JÚNIOR E COSTA, 2014).

Tabela 13 - Resultado obtido das práticas da Esfera EMPRESARIAL

TÉCNICO	Práticas	Resposta	Fator Domínio	Fator Prática	Valor Final	Valor máximo Possível	Valor normalizado em Escala de 0 a 10
	FERRAMENTAS	4	0,114	0,217	0,099	0,124	8,000
	NIVEL TECNOLÓGICO	4	0,114	0,135	0,062	0,077	8,000
	MAO DE OBRA / RH	2	0,114	0,520	0,119	0,297	4,000
	CAPACIDADE OPERACIONAL	3	0,114	0,128	0,044	0,073	6,000
ECONÔMICO	Práticas	Resposta	Fator Domínio	Fator Prática	Valor Final	Valor Máximo Possível	Valor Normalizado em Escala de 0 a 10
	PRODUTIVIDADE	1	0,402	0,202	0,081	0,406	2,000
	RENTABILIDADE	5	0,402	0,460	0,924	0,924	10,000
	DIFERENCIAL COMPETITIVO	2	0,402	0,186	0,149	0,373	4,000
	INVESTIMENTOS	3	0,402	0,075	0,091	0,152	6,000



COMUNICATIVO	Práticas	Resposta	Fator Domínio	Fator Prática	Valor Final	Valor Máximo Possível	Valor Normalizado em Escala de 0 a 10
	ENVOLVIMENTO GESTORES	1	0,106	0,353	0,037	0,187	2,000
	PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS	4	0,106	0,071	0,030	0,038	8,000
REGULATÓRIO	Práticas	Resposta	Fator Domínio	Fator Prática	Valor Final	Valor Máximo Possível	Valor Normalizado em Escala de 0 a 10
	LEGISLAÇÃO	5	0,324	0,483	0,782	0,782	10,000
	POLITICAS PUBLICAS/ INCENTIVOS FISCAIS	1	0,324	0,278	0,090	0,450	2,000
	NORMATIZAÇÃO	5	0,324	0,239	0,386	0,386	10,000
INOVATIVO	Práticas	Resposta	Fator Domínio	Fator Prática	Valor Final	Valor Máximo Possível	Valor Normalizado em Escala de 0 a 10
	ALINHAMENTO ESTRATÉGICO	3	0,054	0,563	0,091	0,152	6,000

BUSCA POR BOAS PRÁTICAS	1	0,054	0,286	0,015	0,077	2,000
-------------------------	---	-------	-------	-------	-------	-------

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14 - Resultado obtido das práticas da Esfera INTEREMPRESARIAL

TÉCNICO	Práticas	Resposta	Fator Domínio	Fator Prática	Valor Final	Valor Máximo Possível	Valor Normalizado em Escala de 0 a 10
	FERRAMENTAS	2	0,114	0,217	0,050	0,124	4
	NÍVEL TECNOLÓGICO	3	0,114	0,135	0,046	0,077	6
	MÃO DE OBRA / RH	2	0,114	0,520	0,119	0,297	4
	CAPACIDADE LOGÍSTICA	2	0,114	0,077	0,018	0,044	4
ECONÔMICO	Práticas	Resposta	Fator Domínio	Fator Prática	Valor Final	Valor Máximo Possível	Valor Normalizado em Escala de 0 a 10
	PRODUTIVIDADE	1	0,402	0,202	0,081	0,406	2
	RENTABILIDADE	5	0,402	0,460	0,924	0,924	10

	DIFERENCIAL COMPETITIVO	1	0,402	0,186	0,075	0,373	2
	INVESTIMENTOS	1	0,402	0,075	0,030	0,152	2
	CAPACIDADE OPERACIONAL	2	0,402	0,077	0,062	0,155	4
<b>COMUNICATIVO</b>	<b>Práticas</b>	<b>Resposta</b>	<b>Fator Domínio</b>	<b>Fator Prática</b>	<b>Valor Final</b>	<b>Valor Máximo Possível</b>	<b>Valor Normalizado em Escala de 0 a 10</b>
	ENVOLVIMENTO DE GESTORES	1	0,106	0,353	0,037	0,187	2
	COMPARTILHAMENTO DE INFORMAÇÕES	5	0,106	0,218	0,116	0,116	10
	PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS	1	0,106	0,071	0,008	0,038	2
	NÍVEL DE RELACIONAMENTO	2	0,106	0,358	0,076	0,190	4
<b>REGULATÓ</b>	<b>Práticas</b>	<b>Resposta</b>	<b>Fator Domínio</b>	<b>Fator Prática</b>	<b>Valor Final</b>	<b>Valor Máximo Possível</b>	<b>Valor Normalizado em Escala de 0 a 10</b>
	LEGISLAÇÃO	5	0,324	0,483	0,782	0,782	10
	POLÍTICAS PÚBLICAS	1	0,324	0,278	0,090	0,450	2

	NORMATIZAÇÃO	5	0,324	0,239	0,386	0,386	10
<b>INOVATIVO</b>	<b>Práticas</b>	<b>Resposta</b>	<b>Fator Domínio</b>	<b>Fator Prática</b>	<b>Valor Final</b>	<b>Valor Máximo Possível</b>	<b>Valor Normalizado em Escala de 0 a 10</b>
	NOVAS PARCERIAS	5	0,054	0,151	0,041	0,041	10
	ALINHAMENTO ESTRATÉGICO	5	0,054	0,563	0,152	0,152	10
	BUSCA POR BOAS PRÁTICAS	1	0,054	0,286	0,015	0,077	2
Fonte: Elaboração própria.							

Tabela 15 - Resultado obtido das práticas da Esfera REGIONAL/GLOBAL

<b>TÉCNICO</b>	<b>Práticas</b>	<b>Resposta</b>	<b>Fator Domínio</b>	<b>Fator Prática</b>	<b>Valor Final</b>	<b>Valor Máximo Possível</b>	<b>Valor Normalizado em Escala de 0 a 10</b>
	FERRAMENTAS	2	0,114	0,217	0,050	0,124	4
	NÍVEL TECNOLÓGICO	3	0,114	0,135	0,046	0,077	6
	MÃO DE OBRA / RH	2	0,114	0,520	0,119	0,297	4
	CAPACIDADE LOGÍSTICA	2	0,114	0,128	0,029	0,073	4

<b>ECONÔMICO</b>	<b>Práticas</b>	<b>Resposta</b>	<b>Fator Domínio</b>	<b>Fator Prática</b>	<b>Valor Final</b>	<b>Valor Máximo Possível</b>	<b>Valor Normalizado em Escala de 0 a 10</b>
	PRODUTIVIDADE	1	0,402	0,202	0,081	0,406	2
	RENTABILIDADE	4	0,402	0,460	0,739	0,924	8
	DIFERENCIAL COMPETITIVO	1	0,402	0,186	0,075	0,373	2
	INVESTIMENTOS	1	0,402	0,075	0,030	0,152	2
<b>COMUNICATIVO</b>	<b>Práticas</b>	<b>Resposta</b>	<b>Fator Domínio</b>	<b>Fator Prática</b>	<b>Valor Final</b>	<b>Valor Máximo Possível</b>	<b>Valor Normalizado em Escala de 0 a 10</b>
	ENVOLVIMENTO DE GESTORES	1	0,106	0,353	0,037	0,187	2
	COMPARTILHAMENTO DE INFORMAÇÕES	1	0,106	0,218	0,023	0,116	2
	PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS	1	0,106	0,071	0,008	0,038	2
	NÍVEL DE RELACIONAMENTO	1	0,106	0,358	0,038	0,190	2

<b>REGULATÓRIO</b>	<b>Práticas</b>	<b>Resposta</b>	<b>Fator Domínio</b>	<b>Fator Prática</b>	<b>Valor Final</b>	<b>Valor Máximo Possível</b>	<b>Valor Normalizado em Escala de 0 a 10</b>
	LEGISLAÇÃO	5	0,324	0,483	0,782	0,782	10
	POLÍTICAS PÚBLICAS	3	0,324	0,278	0,270	0,450	6
	NORMATIZAÇÃO	5	0,324	0,239	0,386	0,386	10
<b>INOVATIVO</b>	<b>Práticas</b>	<b>Resposta</b>	<b>Fator Domínio</b>	<b>Fator Prática</b>	<b>Valor Final</b>	<b>Valor Máximo Possível</b>	<b>Valor Normalizado em Escala de 0 a 10</b>
	NOVAS PARCERIAS	5	0,054	0,151	0,041	0,041	10
	ALINHAMENTO ESTRATÉGICO	4	0,054	0,563	0,122	0,152	8
	BUSCA POR BOAS PRÁTICAS	1	0,054	0,286	0,015	0,077	2

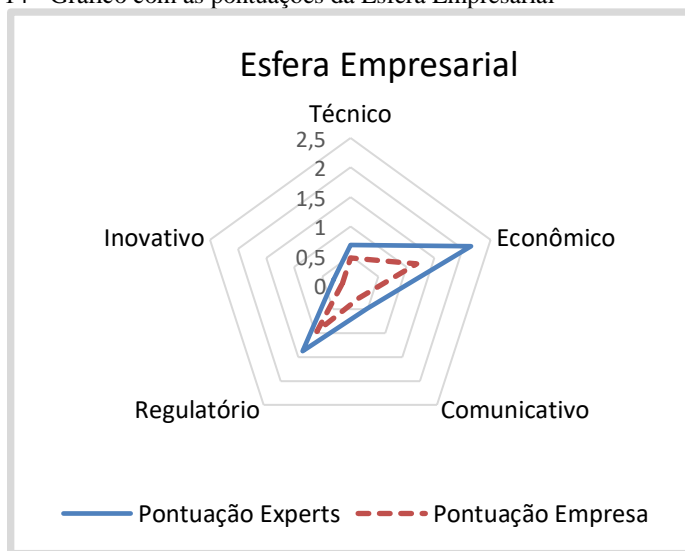
Fonte: Elaboração Própria.

Com os valores obtidos dentro do modelo foi possível elaborar gráficos de radar que apresentassem os valores de importância dos domínios dados pelos *experts* e os valores que a organização de estudo recebeu durante a aplicação do modelo nas três esferas (Figura 14, Figura 15, Figura 16).

A linha contínua apresenta a nota final dada ao domínio durante a análise da opinião dos *experts* pela metodologia *Fuzzy AHP*. A linha tracejada representa a pontuação que a empresa recebeu a partir das respostas dadas dentro da ferramenta do modelo de maturidade.

Foram apresentados somente os gráficos dos valores dos domínios por uma questão de análise entre esferas, embora fosse possível gerar gráficos para cada um dos domínios em relação à suas práticas específicas.

Figura 14 - Gráfico com as pontuações da Esfera Empresarial



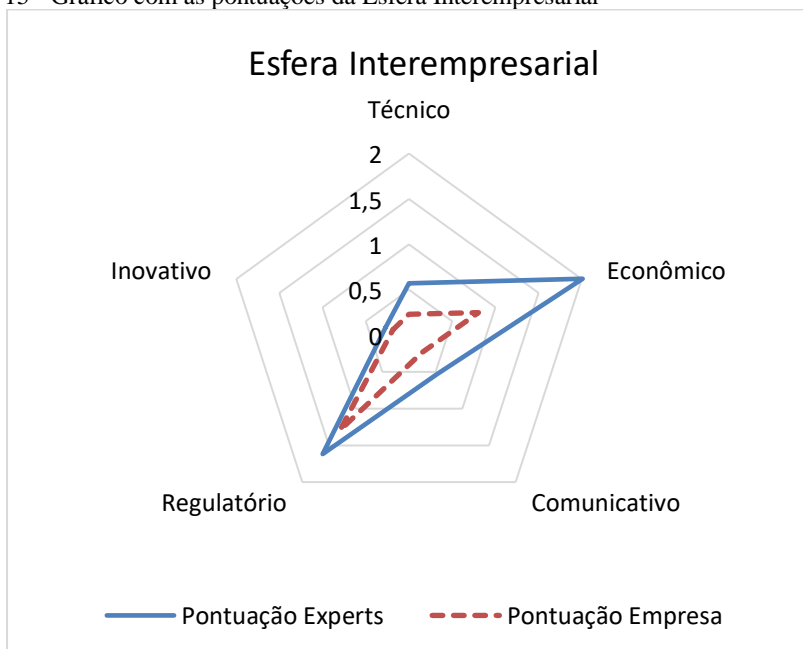
Fonte: Elaboração própria.

Analisando a primeira esfera, percebe-se uma grande importância dada ao domínio “Econômico”, porém um valor relativamente baixo na

nota dada à empresa em questão, o que demonstra um potencial no desenvolvimento das práticas desse domínio. Os domínios “Técnico” e “Regulatório” também possuem a segunda e terceira maiores notas dadas pelos especialistas, respectivamente e possuem uma boa pontuação em relação à resposta da empresa, levando a uma análise de que futuros esforços podem ser demandados para outros domínios.

Por fim, “Comunicativo” e “Inovativo” possuíram as menores notas dadas pelos experts, o que é vista como uma quase linearidade no gráfico e valores muito próximos dados pela empresa.

Figura 15 - Gráfico com as pontuações da Esfera Interempresarial



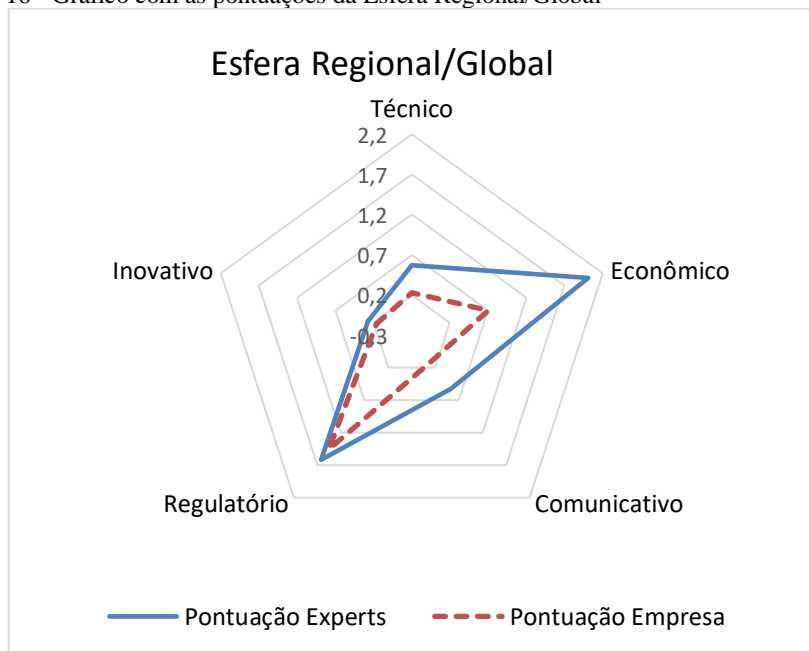
Fonte: Elaboração própria.

Dentro da esfera Interempresarial, é possível perceber uma diferença ainda maior de valores no domínio “Econômico” e um afastamento das notas dos domínios “Técnico” e “Comunicativo” com seu maior valor possível, o que permite dizer que ainda existem pontos desses domínios que devem ser melhor desenvolvidos. O domínio “Inovativo” não foi considerado muito importante durante a classificação dos experts e o valor obtido pela empresa é semelhante com sua maior nota possível.



Por fim, o âmbito “Regulatório” continua com uma pontuação alta e gera uma percepção de que a empresa busca estar sempre de acordo com a legislação vigente e continua na busca e desenvolvimento de boas práticas no assunto.

Figura 16 - Gráfico com as pontuações da Esfera Regional/Global



Fonte: Elaboração própria.

Por fim, a esfera Regional/Global apresenta valores baixos nos domínios “Econômico” e “Técnico”, e ainda, uma diminuição na nota do domínio “Comunicativo” o que gera uma interpretação de que para que a empresa possa desenvolver práticas de EI voltadas a esfera Regional/Global, suas práticas de comunicação devem ser melhores desenvolvidas.

Os valores dos domínios “Regulatório” e “Inovativo” estão muito próximos dos valores dados durante a avaliação de pesos. Dessa forma, caso sejam realizados esforços para novas práticas de EI, esses devem ser focados nos outros três domínios existentes.

Assim, com a aplicação do Modelos de Maturidade desenvolvido, percebe-se que é possível analisar, dentro de cada esfera de atuação, se a empresa está alinhada e preparada com as práticas de EI existentes. É

possível perceber também, no caso da empresa apresentar notas relativamente baixas, analisar a descrição das práticas de cada domínio que encontram-se no modelo de maturidade para entender quais são seus pontos fracos e onde devem, portanto, se concentrar seus esforços de melhoria.

## 5 CONCLUSÃO

### 5.1 Atingimento dos objetivos de pesquisa

Com os resultados apresentados anteriormente é possível afirmar que o trabalho atingiu seu objetivo principal: “Desenvolver uma ferramenta que mensure o grau de maturidade de organizações no âmbito da ecologia industrial e que apresente seu potencial de desenvolvimento na área”. Além disso, os seguintes resultados foram atingidos dentro dos objetivos específicos definidos:

- **Levantar informações acerca de práticas de ecologia industrial e modelos de maturidade empresarial:** Uma extensa revisão da literatura foi realizada em diferentes bases de dado. Após a leitura de diversos trabalhos, 132 artigos contribuíram diretamente para a análise, seleção e classificação de práticas da EI.
- **Relacionar práticas e ferramentas de ecologia industrial com seu grau de importância:** A definição do grau de importância das principais práticas de EI encontradas atualmente foi feita com o auxílio de experts na área que fizeram um ranqueamento dessas práticas com o apoio de um questionário baseado na metodologia *Fuzzy AHP*.
- **Desenvolver um instrumento de aplicação para mensuração da ecologia industrial:** A partir da revisão de literatura e da classificação em graus de importância das principais práticas de EI encontradas, foi desenvolvida uma ferramenta e de análise da maturidade das empresas em EI por meio de perguntas específicas.
- **Testar a ferramenta em um ambiente operacional para validar sua aplicabilidade:** Um teste-piloto foi realizado em uma empresa do ramo da saúde. Através dessa aplicação prática foi possível identificar seus principais pontos fortes e áreas com possibilidade de desenvolvimento de práticas de EI.

A ferramenta desenvolvida nessa pesquisa é uma contribuição tanto para o mundo acadêmico - através de mais publicações na área da EI - quanto para o ambiente empresarial - onde a ferramenta contribui na tomada de decisão de gestores que desejam entender seu nível de maturidade em práticas ambientais e onde deve ser seu foco de desenvolvimento. Dessa forma, entende-se que a pesquisa teve resultado positivo e que alcançou seus objetivos inicialmente estipulados.

## 5.2 Limitações e oportunidades para futuras pesquisas

Essa pesquisa apresenta uma metodologia concisa no desenvolvimento de um modelo de maturidade que permite que organizações meçam como está sua situação atual e em qual área elas devem focar seus esforços para tornarem-se mais maduras na área de EI.

Independente dos resultados alcançados, uma análise crítica de pontos que podem ser melhor desenvolvidos para futuras pesquisas é imprescindível.

O modelo desenvolvido foi baseado a partir de uma revisão de literatura com as principais práticas citadas em artigos científicos e os domínios mais aparentes. Essa análise, apesar de extensa, é mais voltada à literatura e não às práticas reais encontradas na indústria. Uma cobertura mais abrangente seguramente aperfeiçoaria o modelo. Além disso, a ponderação de seus respectivos pesos foi desenvolvida a partir da opinião de cinco experts na área. Embora esses especialistas tenham familiaridade com a importância de cada área, suas opiniões pessoais não representam verdades absolutas acerca do correto peso para as questões.

Levando-se em consideração as restrições mencionadas, sugere-se para pesquisas futuras:

- Realização de análise em alguns setores industriais para identificar práticas de EI comuns, suas frequências e pré-requisitos necessários;
- Ponderação específica de pesos nas questões a partir de diferentes setores industriais, já que algumas práticas são restritas a certos tipos de indústrias;
- Aumento no número de *experts* respondentes garantindo valores mais representativos no resultado final.

Até o momento, a ferramenta apresenta como resultado final valores para cada esfera, domínio e prática. Essas informações são

importantes na geração de insumos para auxiliar gestores na tomada de decisão das práticas ambientais de sua empresa. Entretanto, os gestores devem buscar essas mudanças de maneira proativa e separada do conteúdo disponível dentro do modelo de maturidade.

Para uma segunda versão da ferramenta, sugere-se ainda que a mesma possua valores críticos pré-determinados e que, quando uma empresa tiver notas muito baixas em uma área específica, a ferramenta apresente isso à empresa respondente e sugira algumas práticas que possam auxiliar na melhoria dessa situação. Para isso o modelo precisa ser alimentado com boas práticas dentro da EI e essas práticas precisam estar relacionadas a cada esfera, domínio e questão do modelo.

Finalmente, cabe dizer que existem diversas outras áreas essenciais para o bom funcionamento de organizações como logística, marketing e recursos humanos. A metodologia dessa pesquisa pode servir de referência para o desenvolvimento de novos modelos de maturidade em outros temas.



## REFERÊNCIAS

- ÁGUAS, M. (2004). **Análise energética de sistemas**. Portugal: Instituto Superior Técnico.
- AGUILAR, K. D. T., Chiu, G. M. K., Ubando, A. T., Aviso, K. B., Tan, R. R., & Chiu, A. S. F. (2017). **Bi-level fuzzy optimization model of an algae-sugarcane-based Eco-industrial park**. *Chemical Engineering Transactions*, 61, 877–882. <https://doi.org/10.3303/CET1761144>
- ARAUJO, E. S. et al. (n.d.). **Ecologia Industrial: um pouco de história**. Retrieved from <http://www.hottopos.com/re-geq12/art2.htm>
- ASHTON, W. (2008). **Understanding the Organization of Industrial Ecosystems – A Social Network Approach**. EUA.
- BAIN, A.; SHENOY, M.; ASHTON, W.; CHERTOW, M. (2010). **Industrial symbiosis and Waste Recovery in an Indian Industrial Area**. Elsevier.
- BATENBURG, R., Neppelenbroek, M., & Shahim, A. (2014). **A maturity model for governance, risk management and compliance in hospitals**. *Journal of Hospital Administration*, 3(4), 43–52. <https://doi.org/10.5430/jha.v3n4p43>
- BECKER, J., Knackstedt, R., & Pöppelbuß, J. (2009). **Developing Maturity Models for IT Management**. *Business & Information Systems Engineering*, 1(3), 213–222. <https://doi.org/10.1007/s12599-009-0044-5>
- CHERTOW, M. R. (2000). **INDUSTRIAL SYMBIOSIS : Literature and Taxonomy**. *Annual Review of Energy Environment*, 25(1), 313–337. <https://doi.org/doi:10.1146/annurev.energy.25.1.313>
- CHERTOW, M. R. (2008). **“Uncovering” Industrial Symbiosis**. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 11–30. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1110>
- CLIFT, R., & Druckman, A. (2016). **Taking Stock of Industrial Ecology**.

- Taking Stock of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7>
- COSTA, M. M. da. (2002). **Princípios De Ecologia Industrial Aplicados À Sustentabilidade Ambiental E Aos Sistemas De Produção De Aço**, 257.
- CROSBY, P. B. (1979). **Quality is free: The art of making quality certain**. New York: McGraw-Hill.
- EFENDEGIL, T., Öñüt, S., & Kongar, E. (2008). **A holistic approach for selecting a third-party reverse logistics provider in the presence of vagueness**. *Computers and Industrial Engineering*, 54(2), 269–287.
- EHRENFELD, J. and M. C. (2002). **Industrial symbiosis: The legacy of Kalundborg**. R. Ayres, Northampton, UK: Edward Elgar.
- ELABRAS Veiga, L. B., & Magrini, A. (2009). **Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development**. *Journal of Cleaner Production*, 17(7), 653–661.
- FOLLMANN, N. (2012). **Modelo de Maturidade Logística para Empresas Industriais de Grande Porte**. *Universidade Federal de Santa Catarina, Único*, 178.
- FRAGOMENI, A. L. M. (2005). **PARQUES INDUSTRIAIS ECOLÓGICOS” COMO INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL COOPERATIVA. PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**.
- FROSCH, Robert A.; GALLOPOULOS, N. E. (1989). **Strategies for manufacturing**. *Scientific American*, 261, 144–153.
- GIANNETTI, B. F., Almeida, C. M. v. B., & Bonilla, S. H. (2007). **A ecologia industrial dentro do contexto empresarial**. *Banas Qualidade*.
- GIL, A. C. (2008). **Métodos e técnicas de pesquisa social**. . ISBN 8522451427: Editora Atlas SA.
- GOLEV, A., Corder, G. D., & Giurco, D. P. (2015). **Barriers to Industrial Symbiosis: Insights from the Use of a Maturity Grid**. *Journal of Industrial Ecology*, 19(1), 141–153. <https://doi.org/10.1111/jiec.12159>

- GUIMARÃES, P. S. (2015). **Práticas de GSCM em eco-industrial parks: contribuições de uma revisão bibliográfica sistemática e de estudos de caso.** *Programa de Pós-Graduação Em Engenharia de Produção Da Universidade de São Paulo*, 1–128.
- HEERES, R. R., Vermeulen, W. J. V, & De Walle, F. B. (2004). **Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: First lessons.** *Journal of Cleaner Production*, 12(8–10), 985–995.
- HENS B., Dyke P.H., H. L. (2016). **What can we learn from “dioxin incidents”?** *Int. J. Environment and Pollution*.
- HENS, L., Block, C., Cabello-Eras, J. J., Sagastume-Gutierrez, A., Garcia-Lorenzo, D., Chamorro, C., ... Vandecasteele, C. (2018). **On the evolution of “Cleaner Production” as a concept and a practice.** *Journal of Cleaner Production*, 172, 3323–3333.
- HOLDINGS, S. I. (2016). **What is na Eco-Industrial Park?** Obtido de <<https://summainternationalholdings.com/summaEcoIndustrial.html>> Acesso em 13 de junho de 2018
- HSU, Y.-L., Lee, C.-H., Kreng, V. . (2010). **The application of fuzzy Delphi method and fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection.** *Expert Syst. Appl.* 37 (1), 419-425.
- HUANG, S. H., Sheoran, S. U. K., & Wang, G. (2004). **A review and analysis of supply chain operations reference (SCOR) model.** *Supply Chain Management*, 9(1), 23.
- JACOBSEN, N. B. (2006). **Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark.** *Journal of Industrial Ecology*, 10(1), 239–255.
- JÚNIOR, S. D. da S., & Costa, F. J. da. (2014). **Mensuração e Escalas de Verificação: uma Análise Comparativa das Escalas de Likert.** *XVII SemeAd - Seminários Em Administração*, 1–16. <https://doi.org/1983-9456>
- KALILI, N. R. (2015). **From cleaner production to sustainable development: The role of Academia.** *Journal of Cleaner Production*.
- KARLSSON, R., & Luttrupp, C. (2006). **EcoDesign: what’s happening? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in**



- this special issue.** *Journal of Cleaner Production*, 14(15–16), 1291–1298.
- KASTNER, C. A., Lau, R., & Kraft, M. (2015). **Quantitative tools for cultivating symbiosis in industrial parks; a literature review.** *Applied Energy*, 155, 599–612.
- KAUFMAN, A., & Gupta, M. M. (1991). **Introduction to fuzzy arithmetic: Theory and applications.** New York: Van Nostrand Reinhold.
- KAZMIERCZYK, P. (2002). **Manual on the development of cleaner production policies approaches and instruments.** Vienna: Unido CP Programme.
- KLEN, T. P., Caninéo, J. L. C., Reitz, G. S., & Bouzon, M. (2017). **A FUZZY AHP APPROACH FOR EVALUATING REVERSE LOGISTICS INDICATORS IN BRAZIL,** (Icpr), 702–707.
- KORHONEN J.; MALMBORG F.; STRACHAN P. A.; EHRENFELD, J. R. (2004). **Management and policy aspects of Industrial Ecology: an emerging research agenda.**
- KUBLER, S., Robert, J., Derigent, W., Voisin, A., & Le Traon, Y. (2016). **A state-of the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications.** *Expert Systems with Applications*, 65, 398–422. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.08.064>
- LAPIERRE, D., Moro, J. (2004). Il était minuit cinq a Bhopal. *Techniques* . S.A. Paris.
- LEE, A. H. I., Chen, W. C., & Chang, C. J. (2008). **A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan.** *Expert Systems with Applications*, 34(1), 96–107.
- LIFSET, R., & Graedel, T. E. (2002). **Industrial ecology: goals and definitions.** *A Handbook of Industrial Ecology*, 3–15.
- LIWARSKA-BIZUKOJC, E., Bizukojc, M., Marcinkowski, A., & Doniec, A. (2009). **The conceptual model of an eco-industrial park based upon ecological relationships.** *Journal of Cleaner Production*, 17(8), 732–741.

- LOMBARDI, D. R., & Laybourn, P. (2012). **Redefining Industrial Symbiosis: Crossing Academic-Practitioner Boundaries.** *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 28–37.
- LOWE, E. A. (2001). **Handbook for Development of Eco-Industrial Parks.** Okland, California: Indigo Development.
- MAIER, A.M.; MOULTRIE, J.; CLARKSON, P. J. (2009). **Developing maturity grids for assessing organisational capabilities: Practitioner guidance.** 4th International Conference on Management Consulting, Academy of Management (MCD).
- MIGUEL, P. A. C. (2007). **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução.** *Production*, 17(1), 216–229.
- MULROW, J. S., Derrible, S., Ashton, W. S., & Chopra, S. S. (2017). **Industrial Symbiosis at the Facility Scale.** *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 559–571.
- NAKAJIMA, N. (2000). **A vision of Industrial Ecology: State-of-the-Art Practices for a Circular and Service-Based Economy.** Bulletin of Science, Technology & Society.
- PEREIRA, A. S. (2017). **Ecologia industrial.** Senac.
- PEREIRA, B., Gonçalves, L., Anjos, M., & Lima, G. (2012). **Metodologia para Análise de Maturidade de Inovações Sustentáveis.** *Sistemas & Gestão*, 7(3), 416–427.
- PINTO, L. F. R. (2016). **AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE CERTIFICAÇÃO ISO 14001 E ECOLOGIA INDUSTRIAL: SURVEY NO SETOR AUTOMOTIVO BRASILEIRO.**
- UNEP (2000). **Global Environmental Outlook 2000.** Earthscan, London.
- RUIZ, R. de. (2013). **Ecologia Industrial: Avaliação do Ecopolo Industrial.** Retrieved from
- SAAVEDRA, Y. M. B., Iritani, D. R., Pavan, A. L. R., & Ometto, A. R. (2018). **Theoretical contribution of industrial ecology to circular economy.** *Journal of Cleaner Production*, 170, 1514–1522.

SARACENI, A. (2014). **Ferramenta para avaliação da presença de práticas de simbiose industrial em uma rede de empresas.**

*Dissertação (Mestrado Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação Em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná.*

T.L, S. (1988). **Multicriteria decision making: The analytic hierarchy process.** New York: McGraw-Hill.

TANIMOTO, A. H. (2004). **Proposta de simbiose industrial para minimizar os resíduos sólidos no Pólo Petroquímico de Camaçari.** *Dissertação de Mestrado, Salvador-BA*, 151.

TONIA de Bruin, Michael Rosemann, Ronald Freeze, U. K. (2005). **Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model.** *Applied Physics Letters*, 105(11).

TREVISAN, M., Nascimento, L. F., Madruga, L. R. da R. G., Neutzling, D. M., Figueiró, P. S., & Bossle, M. B. (2016). **Ecologia Industrial, Simbiose Industrial e Ecoparque Industrial: conhecer para aplicar.** *Sistemas & Gestão*, 11(2), 204.

UNEP. (2003). **The industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark.** Obtido de <<http://unepie.org>> Acesso em 14 de julho de 2018.

VAIDYA, O. S., & Kumar, S. (2006). **Analytic hierarchy process: An overview of applications.** *European Journal of operational research*.

WHITE, R. (1994). **The Greening of Industrial Ecosystems.** Washington, DC: National Academy Press.

YEANG, K. (2006). **Ecodesign: A Manual for Ecological Design.** London: WileyAcademy.

ZADEH, L. A. (1988). **Fuzzy Logic.** Computer Study Academy.

ZENG, H., Chen, X., Xiao, X., & Zhou, Z. (2017). **Institutional pressures, sustainable supply chain management, and circular economy capability: Empirical evidence from Chinese eco-industrial park firms.** *Journal of Cleaner Production*, 155, 54–65.

## **APÊNDICE A – Questionário aos *Experts***

Conjunto de questões enviadas a *experts* no assunto para auxiliar na definição de pesos para cada pergunta do modelo de maturidade





### INTRODUÇÃO

Esse questionário foi desenvolvido para auxiliar o graduando do curso de **Engenharia Sanitária e Ambiental** da UFSC **Thomas Pereira Klen** a obter insumos para o desenvolvimento do seu **Trabalho de Conclusão de Curso**, sob orientação da Professora **Marina Bouzon**.

Declaro que as informações coletadas serão utilizadas exclusivamente para fins desta pesquisa, ficando de domínio restrito ao pesquisador e seu orientador.



### ORIENTAÇÕES DE PREENCHIMENTO

Em cada aba da planilha estão alguns domínios que foram definidos para classificar atividades relacionadas com a Ecologia Industrial. Dentro de cada domínio existem práticas ou conceitos relacionados com o seu respectivo domínio.

O participante da pesquisa deve comparar a importância de cada prática ou conceito com relação aos outros de sua mesma área, e inicialmente, comparar as os domínios existentes entre si.

Somente as células em **AZUL** deverão ser preenchidas.

A ordem de comparação é **entre os conceitos das linhas com relação aos conceitos das colunas**.

CONCEITOS DE  
ECOLOGIA  
INDUSTRIAL

INTRODUÇÃO

ECOLOGIA INDUSTRIAL

MENU

DOMÍNIOS

TÉCNICO

ECONÔMICO

COMUNICATIVO

REGULATÓRIO

INOVATIVO

+

:

▶

### ECOLOGIA INDUSTRIAL

Uma das referências mais conhecidas para descrever o conceito de Ecologia Industrial é de WHITE (1994), que diz:

"O estudo dos fluxos de materiais e energia em atividades industriais e de consumo, dos efeitos desses fluxos ao meio ambiente, e das influências de fatores econômicos, políticos, regulatórios e sociais no fluxo, utilização e transformação desses recursos"

INICIAR

### EXEMPLOS PRÁTICOS DE ECOLOGIA INDUSTRIAL

A Ecologia Industrial reúne diversas **ferramentas** e **métodos** para prevenção e redução de resíduos e efluentes gerados, além de otimizar o reaproveitamento desses subprodutos que não conseguiram ser evitados na etapa de produção.

Algumas dessas práticas e sua esfera de atuação podem ser vistas na imagem a seguir.



Dentro de cada aba da planilha estão os domínios ou conceitos a serem analisados.

A aba "CONCEITOS DE ECOLOGIA INDUSTRIAL" apresenta um conteúdo introdutório sobre o assunto.

Assim que terminar uma aba, basta clicar no botão "Retornar ao Menu" e selecionar a próxima aba a ser preenchida

## 0. CONCEITOS DE ECOLOGIA INDUSTRIAL

1. DOMÍNIOS

4. COMUNICATIVO

2. TÉCNICO

5. REGULATÓRIO

3. ECONÔMICO

6. INOVATIVO

INTRODUÇÃO

ECOLOGIA INDUSTRIAL

**MENU**

DOMÍNIOS

TÉCNICO

ECONÔMICO

COMUNICATIVO

REGULATÓRIO

INOVATIVO



	TÉCNICO	ECONÔMICO	COMUNICATIVO	REGULATÓRIO	INOVATIVO
TÉCNICO					
ECONÔMICO	1 - Igualmente importante				
COMUNICATIVO	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante			
REGULATÓRIO	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante		
INOVATIVO	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	

**INSTRUÇÕES**

A comparação é feita analisando um domínio em relação a outro (Domínio da linha em relação ao Domínio da coluna).

**Exemplo** Célula C4: O Domínio Econômico é XX mais ou menos importante que o Domínio Técnico.

Domínios	Definição
Técnico	Relação entre a capacidade humana e máquina necessária para a execução de fluxos de troca, aliados com ferramentas e indicadores de apoio na área.
Econômico	Análises que englobam se os processos são economicamente viáveis ou não, apresentando os riscos relacionados com o fluxo de materiais, custos logísticos, de oportunidade e entre relações com outros stakeholders.
Comunicativo	Nível de interação entre as partes que participam dos processos, envolvendo meios de comunicação, responsáveis e conteúdo informativo. Outro campo abordado é o nível de alinhamento interno entre todas as áreas da organização perante as atividades desenvolvidas no âmbito da Ecologia Industrial.
Regulatório	Regime de adequação perante leis, políticas e normas utilizadas dentro do âmbito da Ecologia Industrial. Engloba também o nível contratual entre organizações para a realizações de processos de troca e compartilhamento de serviços e/ou utilitários.
Inovativo	Relação das melhores práticas e modelos encontrados na literatura e na indústria que podem ser aplicadas no cotidiano das organizações. Envolve práticas de diversos setores e níveis de integração buscando sempre obter resultados positivos para a Ecologia Industrial.

Retornar ao Menu

INTRODUÇÃO | ECOLOGIA INDUSTRIAL | MENU | **DOMÍNIOS** | TÉCNICO | ECONÔMICO | COMUNICATIVO | REGULATÓRIO | INOVATIVO | +

	FERRAMENTAS/INDICADORES	NÍVEL TECNOLÓGICO	RECURSOS HUMANOS	CAPACIDADE LOGÍSTICA
FERRAMENTAS/INDICADORES				
NÍVEL TECNOLÓGICO	1 - Igualmente importante			
RECURSOS HUMANOS	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante		
CAPACIDADE LOGÍSTICA	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	

**INSTRUÇÕES**

A comparação é feita analisando um conceito em relação a outro (Conceito da linha em relação ao Conceito da coluna).

**Exemplo** Célula C5: "Nível Tecnológico" é XX mais ou menos importante que "Ferramentas/Indicadores".

TÉCNICO	Definição
Ferramentas/Indicadores	Utilização de instrumentos e indicadores que auxiliem no gerenciamento de processos e/ou projetos, explicitando etapas de execução, responsáveis e prazos.
Nível Tecnológico	Nível tecnológico necessário de máquinas e sistemas operacionais usados nos processos relacionados com a Ecologia Industrial.
Recursos Humanos	Capacidade técnica que os colaboradores da empresa possuem para executar funções pré-definidas no âmbito da Ecologia Industrial.
Capacidade Logística	Capacidade de realizar atividades que envolvam processos como armazenagem e transporte de materiais.

Retornar ao Menu

<

>

INTRODUÇÃO

ECOLOGIA INDUSTRIAL

MENU

DOMÍNIOS

TÉCNICO

ECONÔMICO

COMUNICATIVO

REGULATÓRIO

INOVATIVO

+

:

1

	PRODUTIVIDADE	RENTABILIDADE	DIFERENCIAIS COMPETITIVOS	INVESTIMENTOS	CAPACIDADE OPERACIONAL
PRODUTIVIDADE					
RENTABILIDADE	1 - Igualmente importante				
DIFERENCIAIS COMPETITIVOS	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante			
INVESTIMENTOS	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante		
CAPACIDADE OPERACIONAL	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	

**INSTRUÇÕES**

A comparação é feita analisando um conceito em relação a outro (Conceito da linha em relação ao Conceito da coluna).

**Exemplo** Célula C4: "Rentabilidade" é XX mais ou menos importante que "Produtividade".

ECONÔMICO	Definição
Produtividade	Aumento relativo na quantidade de bens materiais produzidos.
Rentabilidade	Aumento no valor financeiro obtido a partir da venda dos bens produzidos.
Diferenciais Competitivos	Crescimento de atividades que representem valor ao cliente nas quais os concorrentes ainda não realizam.
Investimentos	Valor financeiro aplicado para atividades voltadas a uma certa área, podendo ser investida em bens materiais, capacitação ou novas contratações.
Capacidade Operacional	Análise se a operação atual da empresa consegue suportar a demanda trazida pelos stakeholders.

**Retornar ao Menu**

	ENVOLVIMENTO DE GESTORES	COMPARTILHAMENTO DE INFORMAÇÕES	PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS	NÍVEL DE RELACIONAMENTOS
ENVOLVIMENTO DE GESTORES				
COMPARTILHAMENTO DE INFORMAÇÕES	1 - Igualmente importante			
PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante		
NÍVEL DE RELACIONAMENTOS	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	

#### INSTRUÇÕES

A comparação é feita analisando um conceito em relação a outro (Conceito da linha em relação ao Conceito da coluna).

**Exemplo** Célula C4: "Compartilhamento de Informações" é XX mais ou menos importante que "Envolvimento de Gestores".

COMUNICATIVO	Definição
Envolvimento de Gestores	Grau de integração com que os gestores da empresa possuem com processos ambientais.
Compartilhamento de Informações	Nível de informação com que a empresa troca dados com outros stakeholders.
Participação em Eventos	Quantidade de eventos, feiras e congressos que a empresa participa relacionados na área ambiental.
Nível de Relacionamento	Quantidade de diferentes stakeholders que a empresa possui com o objetivo de fortalecer a rede voltada para questões ambientais.

**Retornar  
ao Menu**

	LEGISLAÇÃO	POLÍTICAS PÚBLICAS / INCENTIVOS FISCAIS	NORMATIZAÇÃO
LEGISLAÇÃO			
POLÍTICAS PÚBLICAS/ INCENTIVOS FISCAIS	1 - Igualmente importante		
NORMATIZAÇÃO	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	

**Retornar  
ao Menu**

#### INSTRUÇÕES

A comparação é feita analisando um conceito em relação a outro (Conceito da linha em relação ao Conceito da coluna).

**Exemplo** Célula C4: "Políticas Públicas" é XX mais ou menos importante que "Legislação".

REGULATÓRIO	Definição
Legislação	Adequação da empresa com leis vigentes voltadas para questões ambientais
Políticas Públicas / Incentivos Fiscais	Realização do uso de Políticas Públicas/Incentivos Fiscais em atividades da empresa que incentivem questões ambientais e que mitiguem potenciais impactos.
Normatização	Adequação de processos relativos à normatização (como ISOs, NBRs, ABNT, INMETRO, ANVISA, etc).

	NOVAS PARCERIAS	ALINHAMENTO ESTRATÉGICO	BUSCA POR BOAS PRÁTICAS
NOVAS PARCERIAS			
ALINHAMENTO ESTRATÉGICO	1 - Igualmente importante		
BUSCA POR BOAS PRÁTICAS	1 - Igualmente importante	1 - Igualmente importante	

#### INSTRUÇÕES

A comparação é feita analisando um conceito em relação a outro (Conceito da linha em relação ao Conceito da coluna).

**Exemplo** Célula C4: "Alinhamento Estratégico" é XX mais ou menos importante que "Novas Parcerias".

INOVATIVO	Definição
Novas Parcerias	Perspectiva de aumento do número de stakeholders para auxiliar em atividades voltadas na área ambiental.
Alinhamento Estratégico	Relação entre as escolhas estratégicas da empresa com a redução de impactos ambientais e aumento de atividades voltadas para a Ecologia Industrial
Busca por Boas Práticas	Aumento de pesquisas e benchmarkings com o objetivo de encontrar novas práticas que auxiliem na área ambiental.

**Retornar  
ao Menu**



## **APÊNDICE B – Modelo de Maturidade**

Ferramenta desenvolvida para medir o nível de maturidade de organizações no âmbito da Ecologia Industrial







### MODELO DE MATURIDADE EM ECOLOGIA INDUSTRIAL

Essa ferramenta foi desenvolvida com o objetivo de auxiliar organizações a entenderem o seu nível de maturidade no âmbito da Ecologia Industrial.

Os domínios das perguntas e seus respectivos pesos foram definidos dentro da pesquisa científica desenvolvida pelo graduando do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC Thomas Pereira Klen como seu Trabalho de Conclusão de Curso.



### CONCEITOS DE ECOLOGIA INDUSTRIAL

### APRESENTAÇÃO DO MODELO

O modelo segue a seguinte ordem de abas:

1. **Introdução** - Apresenta o Modelo de Maturidade ao respondente.
2. **Menu** - Organiza *hiperlinks* para todo o restante da planilha.
3. **Ecologia Industrial** - Esclarece conceitos relacionados ao tema de Ecologia Industrial.
4. **Dados Iniciais** - Levanta informações básicas da organização.
5. **Empresarial** - Realiza perguntas na esfera empresarial.
6. **Interempresarial** - Realiza perguntas na esfera empresarial.
7. **Regional/Global** - Realiza perguntas na esfera empresarial.
8. **Resultados** - Apresenta o nível de maturidade da organização baseada nas respostas das abas anteriores.

### ECOLOGIA INDUSTRIAL

Uma das referências mais conhecidas para descrever o conceito de Ecologia Industrial é de WHITE (1994), que diz:

"O estudo dos fluxos de materiais e energia em atividades industriais e de consumo, dos efeitos desses fluxos ao meio ambiente, e das influências de fatores econômicos, políticos, regulatórios e sociais no fluxo, utilização e transformação desses recursos"

INICIAR

### EXEMPLOS PRÁTICOS DE ECOLOGIA INDUSTRIAL

A Ecologia Industrial reúne diversas **ferramentas** e **métodos** para prevenção e redução de resíduos e efluentes gerados, além de otimizar o reaproveitamento desses subprodutos que não conseguiram ser evitados na etapa de produção.

Algumas dessas práticas e sua esfera de atuação podem ser vistas na imagem a seguir.



Dentro de cada aba da planilha estão os domínios ou conceitos a serem analisados.

A aba "CONCEITOS DE ECOLOGIA INDUSTRIAL" apresenta um conteúdo introdutório sobre o assunto.

Assim que terminar uma aba, basta clicar no botão "Retornar ao Menu" e selecionar a próxima aba a ser preenchida

**ECOLOGIA INDUSTRIAL**

- 0. DADOS INICIAIS
- 1. EMPRESARIAL
- 2. INTEREMPRESARIAL
- 3. REGIONAL/GLOBAL

INTRODUÇÃO | ECOLOGIA INDUSTRIAL | **MENU** | 0 - DADOS INICIAIS | 1 - EMPRESARIAL | 2 - ...

### INFORMAÇÕES GERAIS

Qual é o ramo de atividade da empresa?	
Qual é o número de funcionários da empresa?	
Qual é o faturamento bruto anual da empresa	
Quanto tempo de atuação no mercado a empresa possui?	

### DADOS AMBIENTAIS

A empresa possui algum setor específico para cuidar da área ambiental?	
A empresa realiza o gerenciamento de seus resíduos sólidos?	
A empresa possui alguma certificação ambiental?	
O conceito de Ecologia Industrial já era conhecido por funcionários da empresa?	

### DADOS DA EMPRESA

Essa aba busca compreender **características gerais da sua organização**, como área de atuação, tamanho da empresa e nível de inserção no mercado.

### INFORMAÇÕES GERAIS

A empresa realiza práticas/processos que estejam relacionados com aspectos da <b>Produção mais Limpa (P+L)</b> ?	1	2	3	4	5
A empresa realiza práticas/processos que estejam relacionados com aspectos da <b>Gestão Ambiental</b> ?	1	2	3	4	5
A empresa realiza práticas/processos que estejam relacionados com aspectos da <b>Responsabilidade Compartilhada</b> ?	1	2	3	4	5
A empresa realiza práticas/processos que estejam relacionados com aspectos de <b>Ecodesign</b> ?	1	2	3	4	5
A empresa realiza práticas/processos que estejam relacionados com aspectos da <b>Ecoeficiência</b> ?	1	2	3	4	5

### TÉCNICO

É comum a utilização de <b>ferramentas</b> que auxiliem no gerenciamento dessas atividades?	1	2	3	4	5
Existe um controle desses processos a partir da mensuração de <b>indicadores</b> de desempenho?	1	2	3	4	5
É possível considerar que essas <b>práticas de EI</b> já estão intrínsecas nos processos da empresa?	1	2	3	4	5
A empresa considera a <b>mão-de-obra qualificada</b> para a realização de processos voltados para a EI?	1	2	3	4	5
O <b>nível tecnológico</b> da sua empresa é considerado suficiente para suportar as práticas de EI?	1	2	3	4	5

### PRÁTICAS EMPRESARIAIS

Atividades características da Ecologia Industrial que ocorrem em processos internos da empresa. Algumas práticas comuns são:

- Produção mais Limpa (P+L)
- Gestão Ambiental
- Responsabilidade Compartilhada
- Ecodesign
- Ecoeficiência

### ESCALA

Considere uma escala onde:  
 1 - Nunca / Não / Despriorizado  
 .  
 .  
 .  
 5 - Sempre / Sim / Muito priorizado

### Econômico

A empresa já obteve algum ganho de <b>produtividade</b> em função das práticas relacionadas com a EI?	1	2	3	4	5
A empresa já obteve algum ganho de <b>rentabilidade</b> em função das práticas relacionadas com a EI?	1	2	3	4	5
Já houve alguma mudança na percepção do <b>diferencial competitivo</b> por causa das práticas voltadas para a EI?	1	2	3	4	5
Existe <b>investimento de recursos</b> (financeiros, humanos, etc.) para criação e/ou manutenção de centros de formação e qualificação de mão de obra voltada para questões ambientais?	1	2	3	4	5

### COMUNICATIVO

Há <b>encontros</b> , com frequência definida, entre setores para discutir práticas voltadas na área ambiental?	1	2	3	4	5
Há interesse/envolvimento de <b>diretores</b> da empresa em saber sobre práticas da área ambiental e seus resultados?	1	2	3	4	5
A empresa já participou de <b>feiras, exposições</b> , entre outras que tratam sobre questões ambientais?	1	2	3	4	5

### REGULATÓRIO

A empresa considera que suas práticas estão dentro dos conformes segundo as <b>legislações</b> ambientais?	1	2	3	4	5
A empresa aplica princípios de <b>responsabilidade compartilhada</b> no seu negócio?	1	2	3	4	5
A empresa utiliza <b>políticas públicas/incentivos fiscais</b> para fortalecer as práticas ambientais existentes?	1	2	3	4	5
A empresa busca seguir aspectos de <b>normatização</b> na área ambiental (como ISOs, NBRs, ABNT, INMETRO, ANVISA, etc)?	1	2	3	4	5

### INOVATIVO

A empresa desenvolve seus produtos pensando em um <b>design</b> que facilite sua disposição ao final de seu ciclo de vida?	1	2	3	4	5
A empresa realiza <b>benchmarking</b> com outras organizações para conhecer novas práticas da área ambiental?	1	2	3	4	5
Na tomada de <b>decisões estratégicas</b> , qual o nível de influência a área ambiental exerce?	1	2	3	4	5
Existe uma <b>análise</b> , com uma frequência definida, sobre os resultados alcançados da área ambiental e de novas formas de atuação?	1	2	3	4	5